



AVANCES CIENTÍFICOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SECTOR AGROPECUARIO Y FORESTAL

Autores: Jorge Martínez Herrera
Carolina Hernández Hernández
Eder Ramos Hernández



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

ISBN: 978-607-37-1395-5



AVANCES CIENTÍFICOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SECTOR AGROPECUARIO Y FORESTAL



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



TABASCO



COSUR



Formación
Intersectorial



UNAM



UNAM
EDUCAR PARA PRODUCIR



CCYTET



UPG
POLITÉCNICA
GOLFO



Fundación
PRODUCE Tabasco
A.C.



ITHUI



CONACYT



CONADI



CONADI



CONADI



CONADI

AVANCES CIENTÍFICOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SECTOR AGROPECUARIO Y FORESTAL

Compiladores:
Carolina Hernandez Hernandez
Jorge Martínez Herrera



Secretaría de Agricultura
y Desarrollo Rural



Instituto Nacional de
Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Víctor Manuel Villalobos Arámbula
Secretario

Víctor Suárez Carrera
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

Salvador Fernández Rivera
Coordinador General de Desarrollo Rural

Andres Sigman Rhee García Cruz
Representante de la SADER en Tabasco

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Luis Angel Rodríguez Del Bosque
Encargado del despacho de los Asuntos de la Dirección General

Alfredo Zamarripa Colmenero
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Luis Ortega Reyes
Coordinador de Planeación y Desarrollo

José Humberto Corona Mercado
Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Regional Golfo Centro

Jorge Martínez Herrera
Director Regional

Sergio Uribe Gomez
Director de Investigación

Francisco González Naranjo
Director de Administración

Carolina Hernández Hernández
Director de Coordinación y Vinculación en Tabasco

“Avances científicos para el desarrollo sostenible del sector agropecuario y forestal”

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C. P. 04010, Ciudad de México. Tel.: 55-3871-8700

Primera edición en formato electrónico (Internet), 2021

Publicación en formato electrónico (Internet), número de ISBN: 978-607-37-1395-5

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en noviembre de 2021, en el Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP. Campo Experimental Huimanguillo, Km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas. C.P. 86400, Huimanguillo, Tabasco. Teléfono: 553 871 8700, ext. 87501. Hecho en México

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos, por un Comité Científico interinstitucional que contó con el apoyo de evaluadores de diferentes Instituciones y dependencias públicas, queda prohibida su reproducción total sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Su uso para fines no comerciales se autorizará de forma gratuita previa solicitud. La reproducción para la reventa u otros fines comerciales, incluidos fines educativos, podría estar sujeta a pago de derechos o tarifas.

Autores: Jorge Martínez Herrera, Carolina Hernández Hernández y Eder Ramos Hernández

Editores: Jorge Martínez Herrera, Carolina Hernández Hernández

INDICE

RECONOCIMIENTOS	ix
Sección A: Cultivos anuales	10
SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ ASOCIADO A LA PRODUCCIÓN DE CHIHUA EN EL PLAN BALANCÁN-TENOSIQUE, TABASCO Barrón Freyre S y Rodríguez Cuevas M	11
ESTIMACIÓN NO DESTRUCTIVA DE ÁREA FOLIAR EN FRESA SEMBRADA EN CONDICIONES DE MALLA SOMBRA Díaz Méndez HA, Vasquez Santiago C, Esteban Vázquez M.....	18
DESARROLLO DE EQUIPO SEMI AUTOMATIZADO PARA INCREMENTO DE CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE HOJAS Y ESPINAS, CASO TALLOS DE ROSAS Sánchez Jiménez JC, Cruz Cruz B, Correa Olvera LE,Álvarez Pérez MA, Escamilla Martínez A	22
VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ACEITE DE PIMIENTA GORDA EN ÁRBOLES DE UNA PLANTACIÓN Y AISLADOS_Honorato Salazar JA, Perez Santacruz J, Ríos Sánchez R, Ramírez González JJM.....	32
PRODUCCIÓN DE GRANO Y DE MATERIA SECA DE GENOTIPOS DE FRIJOL NEGRO EN TLAPACOYAN, VERACRUZ_Rodríguez Rodríguez J. R. y Tosquy Valle O. H.....	38
DULCE COSTILLÓN Y PUKSIKAL ROJO, VARIEDADES DE CHILE DULCE CRIOLLO PARA YUCATÁN_Santamaría Basulto F, Díaz Plaza R, Basto Pool CI, Zavala León MJ, Tut Pech FJ 44	
PRODUCCION DE FRIJOL A CIELO ABIERTO Y EN AMBIENTE PROTEGIDO EN EL CENTRO DE VERACRUZ_Capetillo Burela Á.; Zetina Lezama R.; Reynolds Chávez M. A.; Ugalde Acosta F.J.; Matilde Hernández C.; Espinoza Del Carmen A.; Cadena Zapata M.; López Lopez J. A. ..	48
RELACIÓN ESPACIAL ENTRE RENDIMIENTO DE MAIZ Y RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL SUELO Méndez Dorado MA, López López JA, López López GF, González Ramírez HE, Reynolds Chávez MA y Capetillo Burela A	54
PROCEDIMIENTO AGROCLIMÁTICO PARA DETERMINAR EL INICIO DEL PERIODO DE SIEMBRA: CASO, MAÍZ (CICLO PRIMAVERA-VERANO) EN HUIMANGUILLO, TABASCO Aceves Navarro LA., Arrieta Rivera A., Calao León NS., Francisco Santiago SP., Valencia Peñaloza E., Yzquierdo Álvarez ME.	59
EVALUACION DE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN PIÑA CABEZONA EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NPK_Pérez Romero J, Salgado Garcia S, Córdova Sánchez S, Carmen Lagunes Espinoza L.C., Ortiz García, C.F.....	63
ADAPTABILIDAD DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum spp)” Valdez-Balero, A.; Izquierdo-Reyes, F; Gamas-Jiménez, J, y Torres-Espitia, I.	67
PLAGUICIDAS PARA EL CONTROL DE MOSCA BLANCA (Trialeurodes vaporariorum (Westwood, 1856) EN JITOMATE EN INVERNADERO_Cabrera Mireles H, Murillo Cuevas FD, Reyes Loyola C, Vásquez Hernández A, Adame García J,Jimenez Jimenez M., y Andrés García A.	71
Sección B: Acuicultura	77
CRECIMIENTO, SUPERVIVENCIA Y RENDIMIENTO DE CANAL EN UN BICULTIVO DEL DORMILÓN GORDO DEL PACÍFICO (Dormitator latifrons) Y LA TILAPIA NILÓTICA (Oreochromis niloticus).Palma-Cancino DJ, Vega-Villasante F, Basto-Rosales MER,Martínez-García R,Álvarez-González CA, Chong Carrillo O.	78

Sección C: Agroecología	86
POR LA ADAPTACIÓN DE NUESTRAS COMUNIDADES A LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: AGRICULTURA FAMILIAR EN EL PAISAJE RURAL DE EL GRULLO-AUTLÁN Rodríguez Robles U, Rosales Adame JJ, Cevallos Espinosa J, Sánchez Chino X, Aragón Gastelum JL.....	87
EFFECTO DE ABONOS ORGANICOS Y DE SU COMBINACIÓN CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN JALISCO, MÉXICO Díaz Mederos P., Pérez Domínguez JF., Ireta Moreno J, Villarreal Rodas J H y Arias Chávez L E.	94
EFFECTO DE INSECTICIDAS BIORACIONALES, MICROBIANOS Y QUIMICOS EN LA MORTALIDAD DE PARATRIOZA (<i>Bactericera cockerelli</i>) EN JITOMATE SALADETTE. Pérez Domínguez JF, Díaz Mederos P, Ireta Moreno J.....	100
PROYECCIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (RCP 8.5) SOBRE LA SUPERFICIE POTENCIAL FRUTICOLA EN CHILE Bustos Silva G., Araya-Osses D., Cortez Lira D. y Paneque M.....	109
MODELO PARA ESTIMACIÓN DE VARIACIONES EN LA SALINIDAD SECUNDARIA A PARTIR DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y NIVELES FREÁTICOS Soto J., Cortez D. y Paneque M.....	121
Sección D: Biotecnología	133
INTEGRACIÓN DE VARIABLES DE CALIDAD EN DNA DE FRIJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN De León-Rodríguez Juan Luis, Guzmán-Rodríguez Luis Felipe, Cruz-Cárdenas Carlos Iván, Pichardo-González Juan Manuel y Cortés-Cruz Moisés Alberto.	134
EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA EN AGUA DE COCO COMERCIAL DE LA REGIÓN CHONTALPA EN TABASCO Córdova Alejandro, MA; Suarez Espejo, FI; Cadenas González, MT; Leo Avelino G; De la Cruz López A; Castañeda Castañeda C y Ramos Valencia JJ.	138
EXPRESIÓN GÉNICA DE P-GLICOPROTEÍNA ASOCIADA A RESISTENCIA A IVERMECTINA ENTRE EL ESTADIO L4 DE <i>Haemonchus contortus</i> DESARROLLADO IN VIVO E IN VITRO Meléndez Rosas XK; Reyes Guerrero DE; Maza Lopez J; López Arellano ME; Olmedo Juárez A; Mendoza de Gives P	144
REMOCIÓN DE MUCÍLAGO DE LA SEMILLA DE CHÍA (<i>Salvia hispánica</i>) Atonal Sánchez H, Luna Suárez S.....	148
CAMBIOS POSTCOSECHA EN CONSUMO DE AGUA Y PÉRDIDA DE PESO EN MUTANTES (M ₀) DE ALHELÍ Pérez Jiménez G., Martínez Ruiz A., Fuentes Escobar G. I., De la Cruz Torrez E., López Morales F.	153
BIOFERTILIZANTE DE DIGESTIÓN ANAEROBIA, COMO PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DE SUELO EN LINDAVISTA 2DA SECCIÓN, PLAYAS DE CATAZAJÁ, CHIAPAS Vidal-Jiménez AJ, Pérez Hidalgo WA.....	158
OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA LA PROPAGACIÓN IN VITRO DE <i>ATRIplex taltalensis</i> PARA SU CONSERVACIÓN Y RESCATE DE CARACTERÍSTICAS DESEABLES Muñoz C., Soto J., Román-Figueroa, C., Paneque M.....	166
Sección E: Ganadería	177
EFICIENCIA ALIMENTICIA Y FERTILIDA DE VACAS PROUCTORAS DE LECHE EN EL TRÓPICO Zárate Martínez JP, Ríos Utrera A, Montero Lagunes M, Fragoso Islas A, Juárez Lagunes FI y Rangel Quintos J.....	178

OXIDACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CARNE DE BOVINOS ALIMENTADOS EN PASTOREO Y ESTABULADO_Vélez Pérez MG, ² Granados Rivera LD, Loredo Osti J, Ruiz Albarrán M, Luna Castro S, Bautista Martínez Y	188
CLASIFICACIÓN DE CARNE PSE Y DFD DE ANIMALES SACRIFICADOS EN EL RASTRO TIF PARA BOVINOS EN CIUDAD VICTORIA, TAMAULIPAS_Ponce Jiménez HA, Vázquez Villanueva J, Luna Castro S, Loredo Osti J, Ruiz Albarrán M, Bautista Martínez Y	193
IDENTIFICACIÓN DE DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS RELEVANTES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE 13 ACCESIONES DE <i>Clitoria ternatea</i> L_Enríquez Quiroz JF, Pérez-Amaro JA, Joaquín-Torres BM, Peña-Avelino LY	198
EFFECTO DE USO DE UNA GRASA PROTEGIDA EN LA DIETA DE OVINOS DE ENGORDA SOBRE LAS VARIABLES PRODUCTIVAS Vallejo Gutiérrez ML, Granados Rivera L.D, Salinas Chavira J, Infante Rodríguez F, Ruiz Albarrán M, Loredo Osti J, Bautista Martínez Y	205
DIETAS ISOENERGÉTICAS EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, RENDIMIENTO EN CANAL Y CALIDAD DE CARNE EN OVINOS KATAHDIN Verduzco Leó LG, Orozco Durán KE, Herrera Ojeda JB, Bautista Hernández MA, Pérez Sánchez RE, López Rodríguez M, Sánchez Parra VM.	211
ESTABLECIMIENTO DEL PASTO CAMELLO EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO Granados Zurita L., Guiot García JD., Quiroz Valiente J., Jimenez Ortiz MM, Castillo Linares EB., Salaya Calle ER.....	218
FERTILIZACIÓN ORGANICA E INORGANICA EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ (<i>Zea Mayz</i> L.) PARA SILO Jimenez Ortiz MM., Granados Zurita L., Quiroz Valiente J., López Martínez G.	224
ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES FORRAJERAS DE RECIENTE INTRODUCCIÓN EN SUELOS DE LOMERÍO DE PICHUCALCO, CHIAPAS Granados Zurita L, Guiot García J D, Quiroz Valiente J, Jiménez ORTIZ. M. M., Castañeda Arriola. RO. Ibarra Puc J C, Catillo Linares E B, Moreno Bravo E.....	229
Sección F: Manejo y Conservacion de Recursos Naturales	236
MODELOS DE VOLUMEN TOTAL ÁRBOL PARA LAS PRINCIPALES ESPECIES DE CONÍFERAS EN PUEBLA, MÉXICO Tamarit Urias JC, Monárrez González JC, García Cuevas X y Hernández Ramos A	237
ESTUDIO MICROBIOLÓGICO EN AGUAS RESIDUALES URBANAS EN CÁRDENAS, TABASCO Solís-Rodríguez DL, Rivera-Cruz MC, Trujillo-Narcía A, Ramírez-May AG.....	247
ECUACIONES LOCALES DE ALTURA-DIÁMETRO PARA <i>Cedrela odorata</i> L. EN BOSQUE NATURAL DE QUINTANA ROO, MÉXICO García C., X.; Hernández-R., J.; Hernández R., A.; Reynoso S., R; Cano P., A. y Hernández-Martínez A.J.....	254
NICHOS ECOLÓGICOS Y ÁREAS IDÓNEAS DE TRES ESPECIES DE PINO HOSPEDERAS DE DESCORTEZADOR <i>Dendroctonus mexicanus</i> HOPKINS Méndez Encina FM, Méndez González J, Mendieta Oviedo R y López Díaz JOM	258
EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PETRÓLEO EN SUELO RIZOSFÉRICO SOBRE EL CRECIMIENTO DE <i>LEERSIA HEXANDRA</i> Sw Orocio Carrillo JA, Rivera Cruz MC, Bautista Muñoz CC, Aranda Ibañez EM y Juárez Maldonado A.	268
EFFECTO DE LOS CONTENIDOS DE EXTRACTOS Y CENIZAS EN EL PODER CALORIFICO DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS Honorato Salazar Ja, apolinar Hidalgo F, degabriel Valencia B, colotl Hernández G.	273
EVALUACIÓN EN SUELO RIZOSFÉRICO CON EFECTO DEL PETRÓLEO A TRAVÉS DEL TIEMPO SOBRE EL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LA CIPERÁCEA <i>ELEOCHARIS PALUSTRIS</i> (L) ROEM. & SCHULT Chávez Álvarez K, Rivera Cruz MC, García de la Cruz R, Aceves Navarro LA, Orocio Carrillo JA y Vega López A.....	278

RENDIMIENTO TERMOECONÓMICO EN LA SELECCIÓN DEL TIPO DE SECADOR SOLAR PARA PRODUCTOS AGRÍCOLAS Quintanar Olguin J. y Martínez Ruiz A.....	283
EVALUACION DE LA DEGRADACION DEL BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA POR PRESION DEMOGRAFICA FRAGMENTACIÓN Y CAMBIO DE USO DE SUELO EN MEXICO Moreno Sánchez F, Pérez Miranda R, Velasco Bautista E Romero Sánchez E. González Hernández A	287
MODIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO POR EL PETRÓLEO Y CLORURO DE SODIO SénecaFalcón O, Rivera-Cruz MC, Trujillo-Narcía A, Rodríguez Uribe ML y Ramírez May AG	291
Sección G: Plantaciones	300
ESTIMACIÓN DE VOLUMEN MADERABLE MEDIANTE CUATRO ESTIMADORES EN TRES CONDICIONES DIFERENTES Velasco-Bautista E, De los Santos-Posadas H y, Valdez-Lazalde JR	301
DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS POTENCIALMENTE MUY APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL ÁRBOL DE RAMÓN (<i>Brosimum alicastrum swartz</i>) EN EL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO González Rivera F, Arrieta Rivera A, Aceves Navarro LA, Sánchez Hernández R, Ruiz Acosta SC	306
SENSORIZACIÓN DE UNA SEMBRADORA CONVENCIONAL PARA MONITOREO DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN Rivera Barbosa R, Escamilla Martínez A	310
CONTENIDO DE AZADIRACTINA EN SEMILLAS DE NEEM (<i>Azadirachta indica</i>) COLECTADAS EN TABASCO, México Hernández Hernández KM, Hernández Becerra JA, García Galindo HS, Corzo Sosa CA, Ochoa Flores AA.	320
MODELOS DE ALTURA DOMINANTE PARA <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. EN OCAMPO, MICHOACÁN Hernández-Martínez AJ, Hernández-Ramos J, Quiñonez-Barraza G, Sánchez-Concha R, García-Cuevas X, Velarde Ramírez JC.	329
RELACION DEL PODER CALORÍFICO, LIGNINA Y EXTRACTOS DE <i>Pinus patula</i> Apolinar Hidalgo F, Honorato Salazar JA, Colotl Hernández G.	334
LOS DÉFICIT DE HUMEDAD EN LAS ZONAS PRODUCTORAS DE PALMA DE ACEITE DEL ESTADO DE TABASCO Y SU PROBABILIDAD DE OCURRENCIA Aceves Navarro LA, Arrieta Rivera A, Juárez López JF	339
ESTUDIO DEL SISTEMA RADICAL Y DE LA NODULACIÓN DE LA LEGUMINOSA <i>Crotalaria</i> Trujillo-Narcía A y Rivera-Cruz MC	349
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE DURAMEN Y ALBURA DE <i>Acacia gaumeri</i> Bake PROVENIENTE DE YUCATAN, MEXICO Apolinar Hidalgo F, Aguilar Sánchez P, Honorato Salazar JA, Carrillo Ávila N.	354
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE NUTRIMENTOS, NANOPARTICULAS Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN EL CRECIMIENTO DE PATRONES DE CACAO Urbano Cruz M A, Azpeitia Morales A, Barrientos Juárez E, Abarca Córdova J, Vázquez Hernández L.	359
VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CAMBISOL CULTIVADO CON CACAO (<i>Theobroma Cacao</i> L.) Salgado Velázquez, S., Salgado García, S.; Palma López, D.J.; Zavala Cruz, J.; Córdova Sánchez, S.; Rincón Ramírez, J.A.; Ortiz García, C.F., Hernández Nátaren, E.	367
DAÑOS DE COCHINILLA ROSADA DEL HIBISCUS (<i>Maconellicoccus hirsutus</i>) EN PLANTULAS DE CACAO Ramos Hernández E. ¹ Ramírez Guillermo M. Á. Castellanos-Potenciano B. P. Hernández Lara P. U. Hernández García J. M.	373

Sección H: Socioeconomía y Desarrollo Rural	379
ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DEL GANADO BOVINO DE CARNE DEL "MACHIN S.P R.I." Terán Hernandez JE, Infante Cruz MJ, Pérez BautistaJJ, Pérez Hernández P, Carrillo Cárdenas, M, Oropeza Estrada JA, Hernández Mogica M, Lemus González MT yMartínez Martínez R	380
CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN FAMILIAR EN el ESTADO DE CAMPECHE, México: CADENA MAÍZ Maya Martínez A, Lara del Río MJ y Uzcanga Pérez NG	387
ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA PROFESIÓN DE EXTENSIONISTAS, EN LA CAPACITACIÓN DE CAPRINOCULTORES Y OVINOCULTORES DEL ESTADO DE GUANAJUATO Luna Estrada AA, Velez Izquierdo A, González Orozco TA	393
MANIPULACIÓN POSCOSECHA DE CACAO (Theobroma cacao L.) PARA SU APLICACIÓN POR PEQUEÑOS PRODUCTORES Hernández-Hernández C, Sánchez-García J., Sánchez-García W., García-Arias V., Caballero Pérez JF.....	401
Sección I: Tecnología De alimentos	409
DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN MIELES PRODUCIDAS EN EL ESTADO DE TABASCO Almeida Córdova JI; Reyes Rosas JL; Sol Sánchez A y Zaldívar-Cruz JM	410
EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE RECUBRIMIENTOS A BASE DE ZEÍNA Y ALGINATO DE SODIO EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE CHILE SERRANO Linares-Castañeda A., Gómez y Gómez, Y.M. y Corzo-Rios L.J.	414
SÍNTESIS DE ADSORBENTES DE BAJO COSTO A PARTIR DE RESIDUOS BIOMASA POSCOSECHA DE VAINA DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.) López Margalli KS, Guerra Que Z, Urrieta Saltijeral JM, Hernández Vélez RM, Reyes Osorio J Silahua Pavón AA, Torres Torres JG.....	423
EVALUACIÓN DE EXTRACTOS DE CAFÉ OBTENIDOS POR VÍA ENZIMÁTICA VS SONICACIÓN Rosa- Morales M.; Ríos-Cortés AM.; Ríos- Cortés G.	433
DIRECTORIO DE INSTITUCIONES PARTICIPANTES	441
COMITÉ CIENTÍFICO Y ÁRBITROS	444
SEMBLANZA DE LOS COMPILADORES	445

RECONOCIMIENTOS

Al C. Carlos Manuel Merino Campos, Gobernador Constitucional interino del estado de Tabasco, por su apoyo e interés en la investigación y desarrollo científico y tecnológico, actividades prioritarias para la seguridad alimentaria del presente siglo.

A la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) en Tabasco y a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca (SEDAFOP), instituciones que siempre han mostrado interés en la generación de conocimientos científicos en el área agropecuaria y forestal y en la difusión de estos conocimientos en el agro tabasqueño.

A la Fundación Produce Tabasco, A.C., al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET), por los apoyos que han brindado a los proyectos de investigación de las diferentes instituciones dedicadas a esta actividad y que hoy presentan muchos de sus resultados en este libro.

A las demás Instituciones Promotoras: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Universidad Tecnológica de Tabasco, Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca, Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Fundación Produce Tabasco A.C., Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Popular de la Chontalpa, Colegio de la Frontera Sur, Instituto Tecnológico de Villahermosa, Universidad Politécnica Mesoamericana, Instituto Tecnológico Superior de Macuspana, Instituto Tecnológico de Huimanguillo, Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra, Universidad Politécnica del Golfo de México, Oficinas de Convenciones de Visitantes de Tabasco.

Los Editores.



Sección A: Cultivos anuales



SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ ASOCIADO A LA PRODUCCIÓN DE CHIHUA EN EL PLAN BALANCÁN-TENOSIQUE, TABASCO

CORN PRODUCTION SYSTEM ASSOCIATED WITH CHIHUA PRODUCTION IN THE BALANCÁN-TENOSIQUE PLAN, TABASCO.

¹Barrón Freyre S y ¹Rodríguez Cuevas M

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo, Km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo Tabasco, México. Autor para correspondencia: barron.sabel@inifap.gob.mx

RESUMEN

La caracterización del sistema de producción de maíz se realizó en el territorio conocido como Plan Balancán-Tenosique en Tabasco, a productores de maíz ligados a la producción de chihua, su objetivo fue actualizar la información para definir la problemática del sistema y sus necesidades de transferencia y de acompañamiento técnico, los resultados indican que dentro de las unidades de producción familiar de chihua, el maíz es la segunda cadena de interés agrícola; que el sistema de producción de maíz está ligado a la producción de calabaza chihua, por lo que su manejo tecnológico depende del que se le proporcione a esta especie y en su mayoría su objeto de producción es el autoconsumo; que el bajo rendimiento de grano (1500 kg/ha), es la expresión de un manejo tecnológico deficiente, por lo que existe oportunidad de brindar opciones tecnológicas y de acompañamiento técnico que permitan incrementar la producción de maíz en el Plan Balancán-Tenosique.

Palabras clave: Maíz, sistema, diagnóstico.

INTRODUCCION

En la región tropical del país se siembran 3.2 millones de hectáreas de maíz, de las cuales un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y donde es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas ya que estos expresan al máximo su potencial genético bajo condiciones favorables de clima suelo y manejo por parte de los agricultores (Sierra et al., 2001). Sin embargo, los rendimientos promedio en esta región son bajos, debido entre otras razones al escaso uso de semilla mejorada, no obstante que existen híbridos y variedades mejoradas de maíz y la tecnología de producción con los cuales es factible por lo menos duplicar la producción actual de maíz.

En el año agrícola 2018, en Tabasco se sembraron 81,703 hectáreas de maíz y se cosecharon 78,666 hectáreas con un rendimiento medio de 1,907 kg ha⁻¹, (SIAP, 2019); en la región de la Chontalpa se sembraron 26,821 hectáreas, con una producción de 1,720 kg ha⁻¹, mientras que en los Ríos se establecieron 33,488 hectáreas con 2,077 kg ha⁻¹, en estas dos regiones se concentra el 73.8 % de la superficie total. Los municipios del Estado con la mayor superficie sembrada son, Balancán y Huimanguillo con 19,231 y 11872 hectáreas respectivamente.

tecnogeográfica plan Balancán- Tenosique, es un cultivo tradicional, y se siembran más de tres mil 500 hectáreas, Gallegos (2017). En esta región la siembra de maíz está ligada al de la chihua como sistema productivo, ya que ésta le provee recursos económicos al comercializar el 100 % de su producción y el maíz por lo regular es para el autoconsumo.

Para transferir las innovaciones disponibles en las instituciones de investigación, es necesario caracterizar a los productores del campo y sus sistemas de producción, desde el punto de vista socioeconómico y tecnológico, se requiere determinar sus necesidades de información (Galindo, 2004; Tucuch *et al.*, 2007), por ello el objetivo fue caracterizar tecnológicamente la producción de maíz en el área señalada



MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el año 2020 dentro de la zona calcárea según Palma, *et al.*, 2007, en Tabasco, en la Región de los Ríos, dentro del polo de desarrollo agropecuario Plan Balancán-Tenosique que se localiza entre los 40 y 70 m.s.n.m. y geográficamente entre las coordenadas 17° 15' y 18° 00' de latitud norte y los 91° 00' y 91° 11' de longitud oeste. Dicho polo es parte de ambos municipios.

Se realizaron 56 encuestas en el mismo número de unidades productivas, de un total de 228 en 9 localidades de Balancán y una de Tenosique, la información obtenida a partir de los datos, constituyen la principal fuente de información, para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizó la técnica de muestreo aleatorio estratificado a una confianza del 95 %.

Se realizó un análisis descriptivo de la información y se utilizaron las frecuencias, medidas de tendencia central y de dispersión, tales como media, mediana, moda y desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema de producción. El maíz es la segunda cadena agrícola dentro de las Unidades de Producción Familiar de Chihuahua; del área sembrada en el 52.1 % de casos se siembra asociado a otros cultivos y en el 47 % en unicultivo; cuando se asocia se hace con la Chihuahua en el 95 % de las veces y con frijol en el resto, éste último sobre todo en el ciclo de otoño-invierno.

Ciclo y fechas de siembra. La siembra de maíz se concentra en dos ciclos, primavera-verano cuyas siembras se inician en abril y terminan en el mes de julio, pero sobre todo se concentra del 1° de mayo al 15 de junio con el 70.1 % de las UPF; luego existen siembras en menor porcentaje del 15 de junio al 15 de septiembre en el 19.4 % y el otoño-invierno se considera del 1° de octubre al 30 de diciembre, época donde se siembra en el 22.9 % de las unidades.

Superficie. Los productores de calabaza chihuahua siembran maíz en el 84.2 % de casos y lo mecanizan en el 45.6 % con una siniestralidad del 14 %, La superficie media sembrada es de 2.8 ha con una desviación estándar de 1.6 ha; la superficie mecanizada varía de 0.25 ha a 9.0 ha con una media de 2.6 ha, el área siniestrada varía de 0.5 ha a 3.0 has con una media de 2.5 ha.

La siniestralidad del maíz se debe a factores como la sequía en el 40.4 % de unidades, le sigue el exceso de humedad con el 13.3 %; hay otras causas como las enfermedades, plagas, vientos e inundaciones, que aún y cuando se mencionan en menor proporción también impactan la producción del maíz.

Variedades. Para la siembra se utilizan maíces cuyo grano es de color blanco en el 87.7 % de los casos y amarillo en el 12.3 %, la semilla que utilizan los productores es propia en el 81.5 % de los casos, criolla mejorada en el 7.4 % y certificada en el 11.1 %, es notorio que en ningún caso se acude a utilizar semilla de criolla de otra procedencia; la semilla certificada que utilizan es de compañías transnacionales debido a la falta de oferta de semillas nacionales.

En la región la selección de la semilla se realiza cuando ya se ha cosechado la mazorca, por lo regular con joloche, y se basa fundamentalmente en el tamaño de mazorca (73.1 %), en menor frecuencia está el llenado de mazorca y el color de grano con el 17.3 % y 1.9 % respectivamente.

La cantidad de semilla en kg/ha Cuadro 1, que se emplea en la siembra tiene un amplio rango, por ello se agrupo en tres intervalos de 10 kg, el primero de ellos es de 1 a 10 kg, y se utilizan en el 26.9 % de las Unidades; su valor mínimo es de 3 kg y el máximo de 10 kg, con una mediana de 8 kg/ha; este intervalo de valores con su mediana está relacionado con las siembras de maíz asociado con la chihuahua, ya que se requieren densidades bajas de maíz para minimizar su competencia.

El segundo intervalo es de 11 a 20 kg, es el de mayor frecuencia de uso con 50.0 %, en él la cantidad mínima es de 12 kg/ha y la máxima de 20 kg/ha con una media de 14 kg/ha; el tercer intervalo es de



21 a 30 kg/ha y en él están el 7.7 % de responsables de las UPF, su mínimo real es de 25 kg/ha y el máximo de 30 kg/ha; su mediana es de 25 kg/ha.

Cuadro 1. Cantidad y frecuencia de semilla en kg/ha utilizada por hectárea para la siembra de maíz en las Unidades de Producción de chihua.

Cantidad semilla (kg/ha)	Frecuencia (%)	Mínimo	Máximo	Mediana
1-10	26.9	3	10	8
11-20	50.0	12	20	14
21-30	7.7	25	30	25
No define	15.4	n/d	n/d	n/d

Las medianas de 14 kg/ha seguramente corresponden a siembras manuales de maíz en unicultivo y la de 25 kg/ha a siembras manuales en unicultivo o mecanizadas con semilla certificada a densidades de plantas mayores a 55 mil plantas por hectárea. Existe un 15.4 % de productores que no definen la cantidad utilizada, es posible que se relacione con aquellos que no siembran maíz.

En relación al porcentaje de productores que tratan la semilla para siembra, los resultados indican que el 71.2 % si le dan algún tratamiento a la semilla, aunque no se especifica en que consiste, el 13.5 % no lo hace y un 15.4 % no lo clasifica; aquí es importante saber el tipo de tratamiento y productos que utiliza en este componente tecnológico. Otro aspecto a considerar es el arreglo de siembra del maíz, las aseveraciones emitidas señalan que en el 100 % de casos el método de siembra es en hileras sencillas, manual o mecanizado.

Tipos de labranza y labores de preparación de suelo. Los tipos de labranza que se detectaron son los llamados de labranza convencional y labranza de conservación; la convencional o tradicional se utiliza en el 46.2 % de las UPF; la labranza reducida o mínima en el 32.7 % de Unidades y la labranza cero se practica en el 15.4 %; un 7.7 % no define sistema alguno de labranza.

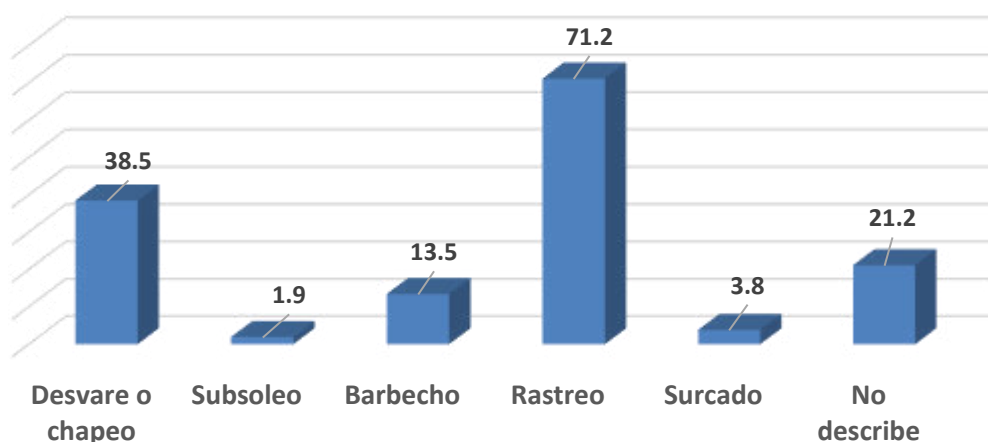


Figura 1. Porcentaje de uso de las labores de preparación de suelo en las Unidades de Producción Familiar.



Analizando las labores de preparación del suelo para tener una cama de siembra adecuada y favorecer un buen establecimiento del cultivo, además de contribuir en el manejo de las malezas, plagas, enfermedades y humedad de suelo, el desvare o chapeo se hace en el 38.5 % de las UPF, el subsoleo, solo en el 1.9 %; este indicador es muy bajo, si consideramos que en el Territorio, un alto porcentaje de suelos son de textura arcillosa y de capas internas impermeables, esta labor debe ser utilizada con mayor frecuencia.

En la figura 1, también se corrobora que el barbecho es restringido pues solo en el 13.5 % de las unidades se lleva a cabo, sin embargo, el rastreo con el 71.2 % de uso es por mucho la labor que más se practica; una actividad que va adquiriendo mayor uso es el surcado, sobre todo cuando la siembra es de maíz en unicultivo y se requieren densidades mayores a las utilizadas en asociación, en la actualidad su frecuencia de utilización es de 3.8 %.

Nutrición del cultivo. Las necesidades del cultivo dependen de factores, el nivel productivo esperado, el momento y forma de aplicación, la humedad en el suelo, el nivel de fertilidad del suelo, entre otros, en referencia a esto, los resultados indican que solo el 16.3 % de productores realiza análisis de suelo, el restante 83.7 % no lo hace; de los que realizan análisis en el 57.1 % lo hacen del suelo y el 42.9 % de las partes vegetativas de las plantas.

Cuadro 2. Frecuencia de uso de fertilizantes y cantidades por hectárea en las Unidades de Producción Familiar.

PRODUCTO	FRECUENCIA (%)	CANTIDAD DE PRODUCTO POR HECTÁREA (Kg o l)				
		Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desv. Est.
Urea	48.0	50	250	62.5	86.5	49.4
DAP	32.0	25	300	100	107.9	75
Triple 17	14.0	50	150	100	100	31.6
Triple 18	6.0	50	100	100	87.5	25
Composta	2.0	400	400	400	400	0
Lixiviados	10.0	10	200	10	50	84
20-30-10	16.0	1	10	2	4.4	3.9
Foliar	34.0	1	10	2	3.2	2.9
Bayfolan	2.0	2	2	2	2	0
Grogreen	4.0	1	4	2.5	2.5	2.1
Raizal	2.0	5	5	5	5	0

A pesar que la frecuencia de analizar la fertilidad del suelo o el estado nutricional de la planta es baja, el productor fertiliza su planta en el 94.1 % de casos, sin embargo y basándose en el nivel de análisis, con seguridad no se está siendo eficiente ni en las cantidades de fertilizante ni en el número de aplicaciones, así, la frecuencia de aplicar una sola vez el fertilizante es del 34.0 %, dos veces el 54.0 % y tres veces el 12.0 %.

Respecto a la frecuencia de uso de los productos fertilizantes aplicados al suelo (Cuadro 2), se tiene a la urea en el 48.0 % de casos, le sigue el DAP con el 32.0 % de veces, el triple 17 en el 14.0 % y el triple 18 en el 6.0 %; la composta se utiliza solo en el 2.0 %. De los productos aplicados vía foliar, el 20-



30-10 con 16.0 % de frecuencia de uso es, junto con el llamado foliar con 34.0 % las formas más empleadas, se le llamó foliar dado que el encuestado no definió el nombre del producto, pero en esta categoría está considerado la aplicación de urea, DAP, triple 17 y triple 18 en dosis menores.

Al revisar las cantidades de producto utilizadas vemos como a nivel de medianas, la urea se aplica a 86.5 kg/ha, el DAP 107.9 kg/ha, el triple 17, 100 kg/ha, el triple 18, 87.5 kg/ha y la composta en 400 kg/ha. De los mencionados el DAP tiene el mayor rango de cantidad aplicada, pues su cantidad mínima es de 25 kg/ha y el máximo de 3000 kg/ha. Lo descrito, dan la pauta para asegurar que existe la necesidad de definir para el Territorio, el nivel de fertilidad actual de los suelos y las dosis de fertilización adecuadas a cada sistema de producción del maíz.

Control de malezas. En el trópico las malezas sino se manejan adecuadamente causan pérdidas notables en la producción de los cultivos, maíz no es la excepción; el tipo de malezas presentes en el cultivo es en el 17.3 % de los casos de hoja ancha; el 28.8 % de hoja angosta, ambas coexisten en el 53.8 % de las unidades de producción.

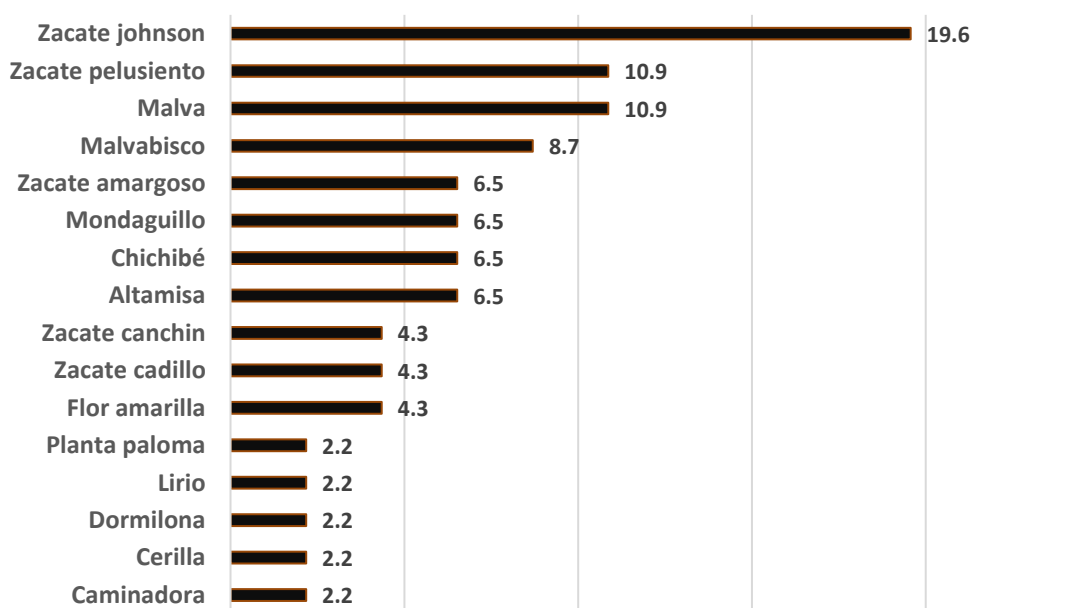


Figura 2. Nombre común de las malezas presentes en las Unidades de Producción Familiar de productores de maíz.

Lo anterior dificulta el manejo de las malezas, sobre todo si los productos o métodos que se utilizan no son los adecuados; existe diversidad de malezas en el Territorio, parte de dicha diversidad se observa en la Figura 2 donde los productores mencionan 16 arvenses y la de mayor problema lo representa el Zacate Johnson con el 19.6 %, que es una maleza no nativa sino introducida por el ineficiente manejo mencionado.

Otras malezas presentes en el maíz y que dificultan y reducen la producción de maíz son las llamadas Zacate pelusiento, malva y el malvavisco con 10.9 % las primeras y 8.7 % la tercera; por ello es necesario realizar investigación de identificación o clasificación y área y niveles de daño que provocan.

Por lo general para controlar la maleza el producto más utilizado es el glifosato con el 55.8 % de preferencia, le sigue el paraquat en el 40.4 % y en tercer lugar está el 2,4-Amina con el 34.6 % de frecuencia. Por su frecuencia de uso en el área total de siembra, el que más se utiliza es el glifosato, cubre el 45.9 % de área, le sigue el paraquat con el 26.7 % y la Amina en el 22.9 % de la superficie.



Las dosis aplicadas de cada uno de los productos son variables, para el caso de glifosato la mínima es de 1.5 l/ha y la máxima de 5 l/ha con una mediana de 3 l/ha; la de paraquat es de 0.5 l/ha a 5 l/ha con una mediana de 5 l/ha y la de Amina de 0.75 a 5 l/ha; es de notar el hecho que el rango de dosis es amplio lo que demuestra el desconocimiento sobre el manejo de los productos.

Control de plagas. El tipo de control más utilizado es el químico (94.1 %), y solo el 5.9 % maneja otras estrategias como el control biológico; las plagas reconocidas por los productores como responsables de daños económicos en su cultivo es el gusano cogollero con el 80.4 % de menciones, le siguen la diabrótica y el gusano barrenador con 19.6 % y 17.6 % respectivamente, pero hay otras plagas que si no se tienen los cuidados necesarios pueden convertirse en verdaderos problemas, tal es el caso de la araña roja, la mosca pinta y los pulgones.

Los productos sobre los cuales el productor basa su control son el Palgus con el 88.2 % de uso, le sigue la Cipermetrina con el 29.4 %, hay un tercero con 7.8 % llamado Foley rey, sin embargo, el uso de trampas con feromonas ya es método que se utiliza, aún con 3.9 % de frecuencia, pero deberá incrementarse su uso cuando el manejo sea agroecológico. En cuanto al porcentaje de área que cubre cada producto, el Palgus lo hace en el 65.9 % de ella, la Cipermetrina en el 21.8 % y el Foley Rey cubre el 9.2 %.

Control de enfermedades. Para el productor y técnicos siempre será más difícil el diagnosticar una enfermedad, suele confundirse con problemas nutricionales u otro factor como toxicidades o deficiencias, por ello al analizar las respuestas se puede afirmar que no hay claridad sobre el patógeno que está provocando una reducción en la productividad del maíz; el productor distingue al chamusco con el 29.8 % de menciones, el hongo con 17.5 % y el amarillamiento con el 5.3 %, en ellos el nombre está definido por el tipo de daño, pero bien pueden ser los mismos patógenos en diferentes grados de desarrollo; el 52.6 % de productores no fueron capaces siquiera de ponerle nombre al problema. Sin embargo, en el 82.5 % de Unidades no se aplican fungicidas y de los que aplican mencionan al Mancozeb con el 8.8 % de uso y cubre el 45.9% del área donde se aplica.

Cosecha y manejo poscosecha. Para cosechar el maíz se realizan actividades como la dobla cuya frecuencia es del 64.6 %, el 35.4 % de productores no la ven necesaria, el arranque de mazorca con joloche nos tan frecuente como en otras zonas del estado, solo se realiza en el 16.3 % de unidades, la pizca si se lleva cabo en el 70.8 % y el acarreo en el 95.8 % de casos.

Para el desgrane solo en el 36.7 % de Unidades se utiliza maquinaria, el 71.4 % lo hace en forma manual, lo cual es un indicador de producción para autoconsumo; su conservación la realiza en costales, sacos o bolsas de plástico en el 57.4 % de unidades, el 13.0 % utiliza los tambos herméticos, el 25.9 % las trojes y el 7.4 % tapancos.

El 66.7 % de productores no aprovechan los subproductos del cultivo, el rastrojo lo incorpora al suelo o lo mantiene sobre el mismo para que se mineralice y vuelvan a ser aprovechado por el mismo cultivo u otros; el rastrojo solo se utiliza para alimentar al ganado en el 27.8 % de unidades y las hojas, totomoxtle o joloche se aprovecha en el 5.6 % para la elaboración de tamales.

CONCLUSIONES

Dentro de las unidades de producción familiar de chihuahua, el maíz es la segunda cadena de interés agrícola.

El sistema de producción de maíz está ligado a la producción de calabaza chihuahua, por lo que su manejo tecnológico depende del que se le proporcione a esta especie y en su mayoría su objeto de producción es el autoconsumo.

El bajo rendimiento de grano (1500 kg/ha), es la expresión de un manejo tecnológico deficiente, por lo que existe oportunidad de brindar opciones tecnológicas y de acompañamiento técnico que permitan incrementar la producción de maíz en el Plan Balancán-Tenosique.



LITERATURA CITADA

- Galindo-González G. 2004. Estrategias de difusión de innovaciones agrícolas en México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 3:73-79.
- Gallegos-Morales E. 2017. Sistema producto Chigua: Diagnóstico. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 70p.
- Palma-López D.J., Cisneros-Domínguez J., Moreno-Caliz E., Rincón-Ramírez. J.A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 214p.
- Sierra, M. M., Palafox, C. A., Cano, R., O., Rodríguez, M. F. A., Espinosa, C., A. Turrent, F., A. Gómez, M., N., Córdova, O., H., Vergara, A., N., Aveldaño, S. R., Barrón, F., S., Romero, M., J. Caballero, H., F., González, C. M. y Betanzos, M., E. 2001. Descripción varietal de H-519C, H-553C y V-537C, maíces con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. INIFAP CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm.30. Veracruz, Ver., México. 21 p.
- Tucuch-Cauich F.G., Ku-Naal R., Estrada-Vivas J.D., Palacios-Pérez A. 2007. Caracterización de la producción de maíz en la zona centro-norte del estado de Campeche, México. Agronomía Mesoamericana 18(2): 263-270.
- SIAP, 2018. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do (consultado 7 de febrero 2019).



ESTIMACIÓN NO DESTRUCTIVA DE ÁREA FOLIAR EN FRESA SEMBRADA EN CONDICIONES DE MALLA SOMBRA

NON-DESTRUCTIVE ESTIMATION OF LEAF AREA IN STRAWBERRY CULTIVATED UNDER SHADE NETS

¹Díaz Méndez HA, ¹Vasquez Santiago C, ¹Esteban Vázquez M.

¹Instituto Tecnológico de Tecomatlán. Carretera Palomas-Tlapa, km. 19.5, Tecomatlán, Puebla, México.

Autor de correspondencia: vasquez.celerino@colpos.mx

RESUMEN

La fresa tiene demanda tanto en mercados frescos como en la industria alimentaria y su cultivo ha ido incrementando en los últimos años. Conocer el área foliar permite llevar a cabo exitosamente prácticas como riegos y fertilización, pero la carencia de equipos especializados obliga a buscar alternativas tales como modelos matemáticos de estimación indirecta. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue generar modelos para hojas con diferentes niveles de desarrollo y determinar el efecto de sustratos hidropónicos en el área foliar de la fresa variedad Camino Real. Se tomaron 30 hojas pequeñas, medianas y grandes, y se desprendieron los folíolos separando los folíolos centrales y los laterales. A todos los folíolos se les determinó el largo (cm), el ancho (cm) y el área (cm²) con el programa Photoshop CS6. Una vez generado los modelos, se comparó el efecto de los sustratos perlita, arena y tepezil en el área foliar de plantas con 37 días de establecimiento. El modelo encontrado para la estimación del área de los folíolos centrales es $\text{Área} = -12.586 + 6.951 \cdot \text{Ancho}$ aplicable a cualquier tamaño, mientras que para folíolos laterales es $\text{Área} = -3.061 + 1.683 \cdot \text{Ancho} + 1.477 \cdot \text{Largo}$ (hojas de 1 a 4 cm de largo), $\text{Área} = -15.13 + 2.599 \cdot \text{Ancho} + 4.086 \cdot \text{Largo}$ (hojas de 4.01 a 6 cm) y $\text{Área} = -36.84 + 5.753 \cdot \text{Ancho} + 5.137 \cdot \text{Largo}$ (hojas de 6.01 a 6 cm). El Tepezil fue el sustrato que mayor área foliar generó en las plantas. Así, los modelos de estimación de área foliar para fresa dependen del tamaño de los folíolos y los sustratos influyen significativamente en dicha variable.

Palabras clave: *área foliar, modelo, fresa, tepezil,*

INTRODUCCIÓN

La fresa es un cultivo muy popular con demanda en mercados frescos y en la industria alimentaria. Su popularidad se puede juzgar por el hecho de que su producción alrededor del mundo ha aumentado considerablemente en los últimos años (Husaini y Zaki, 2016).

Conocer el área foliar es muy importante para poder llevar a cabo prácticas culturales como el riego y la fertilización (Demirsoy *et al.*, 2005), además de poder estimar el rendimiento de los cultivos (Rodríguez *et al.*, 2016).

El hecho de que los métodos convencionales para medir el área foliar implican separar las hojas de las plantas (práctica destructiva) (Yeshitila y Taye, 2016), además de la carencia de equipos especializados, generalmente costosos, obliga a buscar alternativas para su determinación. Los modelos de estimación del área foliar ofrecen la ventaja de poder llevar a cabo mediciones en las mismas plantas lo cual reduce la variabilidad experimental (Demirsoy *et al.*, 2005), trabajo y costos (Karaka *et al.*, 2020).

Se han reportado modelos para *Capsicum annum* (Rodríguez *et al.*, 2016), *Solanum tuberosum* L., *Brassica campestris* L., *Beta vulgaris*, *Ipomoea batatas* L., *Vicia snap* L., *Allium cepa* (Yeshitila & Taye, 2016) y *Fragaria x ananassa* (Demirsoy *et al.*, 2005), entre otros; sin embargo, generalmente se han estudiado hojas completamente desarrolladas y variedades específicas.

Por otro lado, se sabe que los invernaderos y sistemas hidropónicos incrementan la productividad de las especies hortícolas ya que propician un ambiente favorable para el crecimiento de los cultivos (Ortiz

et al., 2009) y se hace un uso eficiente del agua y fertilizantes (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2017). Por ello, es necesario conocer el efecto que tienen los sustratos sobre especies de interés particular.

En investigaciones donde es necesario evaluar el crecimiento, muchos de los modelos reportados no son útiles en hojas de tamaño pequeño debido a que generan valores negativos ni en variedades distintas de las que fueron obtenidos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue generar modelos para hojas con diferentes niveles de desarrollo y determinar el efecto de sustratos hidropónicos en el área foliar de la fresa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron 30 hojas de fresa variedad Camino Real de tres tamaños (pequeñas, medianas y grandes). Se desprendieron los folíolos y se agruparon por un lado los centrales (Figura 1A), y por el otro, los laterales (Figura 1B). Las plantas se cultivaron en malla sombra, en tepezil como sustrato y fertilizados con solución nutritiva Steiner. A todos los folíolos se les determinó el largo (cm), el ancho (cm) y el área (cm²) con el programa Photoshop CS6.

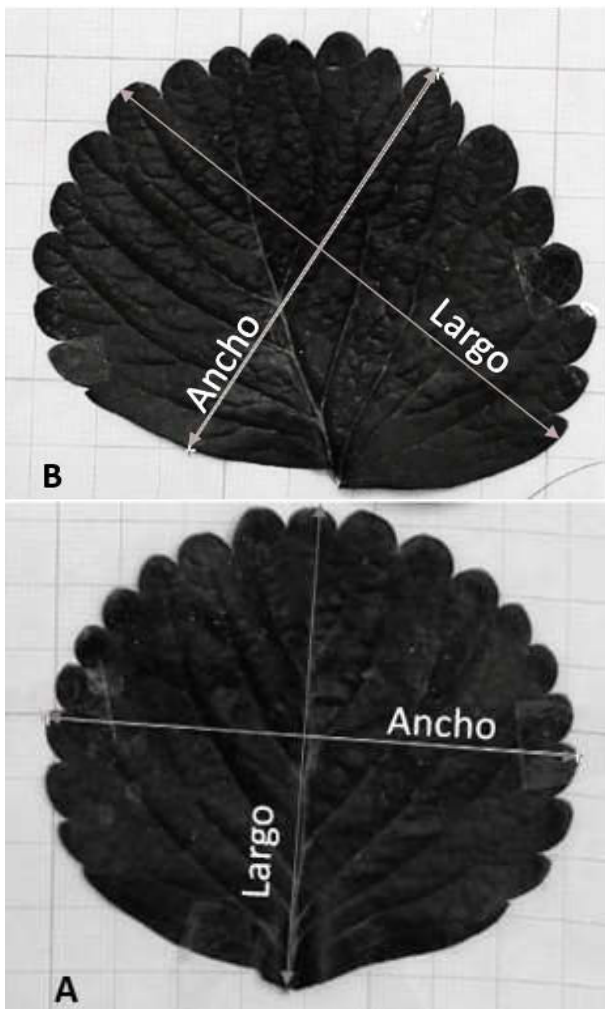


Figura 1. Foliolo central (A) y lateral (B) de una hoja de fresa.

Los resultados se sometieron a un análisis de regresión lineal múltiple con el método de “por pasos” en el programa estadístico SPSS versión 26, donde se consideraron como variables independientes el largo y el ancho de los folíolos, y como variable dependiente el área.

Una vez que se obtuvieron los modelos se analizó el efecto de tres sustratos (perlita, arena y tepezil) en el área foliar de la misma variedad bajo un diseño experimental completamente al azar. Para ello, se



tomaron cinco plantas (UE) por sustrato (tratamiento). La evaluación se hizo a plantas con 37 días de su establecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos

Para los folíolos centrales, el análisis de regresión lineal mostró que el modelo se ajusta muy bien a cualquier tamaño de hoja y que existe una relación entre las variables que se explica con la ecuación:

$$\text{Área} = -12.586 + 6.951 * \text{Ancho}$$

El modelo solo incluye el ancho ya que se encontró que es la variable que explica la mayor variabilidad de los datos del área. La ecuación obtenida presenta una $R^2 = 0.9939$ y una $S = 1.25864$.

Para el caso de los folíolos laterales, se observó que el estado de desarrollo sí influye en el modelo. En el Cuadro 1 se reportan los modelos encontrados de acuerdo con el tamaño de los folíolos.

Cuadro 1: Modelos para la estimación de área foliar en los folíolos laterales de hojas de fresa de acuerdo con su longitud.

Largo	Modelo	R ²
1.00 – 4.00	Área = -3.061 + 1.683*Ancho + 1.477*Largo	0.9788
4.01 - 6.00	Área = -15.13 + 2.599*Ancho + 4.086*Largo	0.9565
6.01 – 10.00	Área = -36.84 + 5.753*Ancho + 5.137*Largo	0.9639

Los parámetros obtenidos en este trabajo difieren de los que obtuvieron Demirsoy *et al.* (2005) quienes reportan el modelo $A = 1.89 + 2.145 * \text{Largo del foliolo central} * \text{ancho del foliolo izquierdo}$. Las diferencias se deben a que en esta investigación se evaluaron los folíolos por separado, diferentes tamaños y variedades diferentes.

Sustratos

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre los sustratos ($P < 0.05$) donde las plantas sembradas en tepezil (Figura 2) fueron las que presentaron mayor área foliar (54.3 cm^2). Los resultados concuerdan con López-Pérez *et al.* (2005), quienes reportaron que el tipo sustrato influye en el área foliar de la fresa variedad Chandler, ya que a los 120 días después del establecimiento del cultivo el área foliar varió de 195.8 (tezontle 100%) a 650.4 cm^2 (75 % tezontle + 25 % fibra de coco).

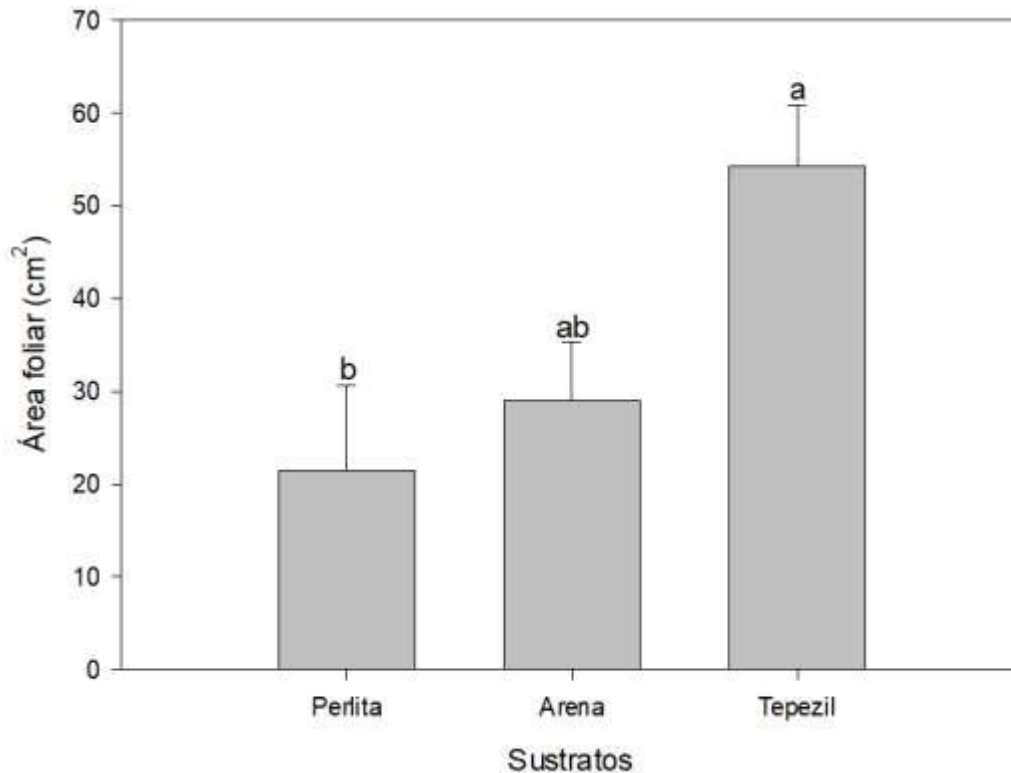


Figura 2. Área foliar de plantas de fresa variedad Camino Real con cinco semanas después del trasplante.

CONCLUSIONES

Los modelos de estimación de área foliar para fresa dependen del tamaño de los folíolos y los sustratos influyen significativamente en dicha variable.

LITERATURA CITADA

- Demirsoy, H., Demirsoy, L., and Öztürk, A. 2005. Improved model for the non-destructive estimation of strawberry leaf area. *Fruits*. 60(1): 69-73.
- Husaini, A.M. and Zaki, F.A. 2016. Strawberries: A general account. *In: Husaini, A.M. and Neri, D. (Eds.), Strawberry: Growth, development and diseases*. United Kingdom: CAB International. pp. 1-9.
- Karaka, C., Büyüktas, D., and Sehir, S. 2020. Determination of leaf area of some vegetables plants grown under greenhouse condition by non-destructive methods. *Horticultural Studies*. 38(1): 23-28.
- López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Martínez-Castro, O. and Escalante-Linares, O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28(2): 171-174.
- Martínez-Rodríguez, O.G., Can-Chulim, A., Cruz-Crespo, E. and García-Paredes, J.D. 2017. Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(1): 53-65.
- Ortiz, C.J., Sánchez, C.F., Mendoza, C.M.C., and Torres, G.A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(4): 289-294.
- Rodríguez, P.R.A., José, L.S., Swarowsky, A., Rosales, C.R., Urbanetto, N.C., and Maffei, M. 2016. Non-destructive models to estimate leaf area on bell pepper crop. *Ciencia Rural*. 46(11): 1938-1944.
- Yeshitila, M. and Taye, M. 2016. Non-destructive prediction models for estimation for leaf area for most commonly grown vegetable crops in Ethiopia. *Science Journal of Applied Mathematics and Statistics*. 4(5): 202-216.



DESARROLLO DE EQUIPO SEMI AUTOMATIZADO PARA INCREMENTO DE CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE HOJAS Y ESPINAS, CASO TALLOS DE ROSAS

DEVELOPMENT OF SEMI-AUTOMATED EQUIPMENT TO INCREASE CAPACITY TO REMOVE LEAVES AND THORNS, CASE OF ROSE STEMS

¹Sánchez Jiménez JC, ¹Cruz Cruz B, ¹Correa Olvera LE, ¹Álvarez Pérez MA, ¹Escamilla Martínez A.

¹CIATEQ A.C. Centro de Tecnología Avanzada
Av. Manantiales 23-A, Parque Industrial Bernardo Quintana, El Marqués, Qro., 76246.
Autor para correspondencia: julio.sanchez@ciateq.mx

RESUMEN

La floricultura como medio de expresión y desarrollo económico, ha sido sin lugar a dudas una de las actividades de gran relevancia en el país. De acuerdo con el Comité Nacional de Sistema Producto Ornamentales, el tipo de flor que más prefieren los compradores es la rosa, secundada de la gerbera, anturio, liliom, tulipán, crisantemo, gladiola, clavel y los follajes de corte. México es una gran potencia y un país productor de flores, pues cada año se producen mil 200 millones de rosas fundamentalmente en los estados de México, Morelos y Querétaro. Dada la importancia del desarrollo de las rosas en la vida cotidiana y en el ámbito económico en nuestro país, se hace necesario el diseño y desarrollo de equipos y métodos que incremente la producción de los procesos de acondicionamiento para esta flor y otras con características mecánicas similares. Por lo anterior, se presentan los resultados del desarrollo de una máquina semiautomatizada para la remoción de hojas y espinas de tallos de flores, la cual está integrada por una estructura de soporte, un carrusel aéreo para carga y descarga de las flores y tres módulos de limpieza y corte. En cada uno de éstos se montan los mecanismos de limpieza y corte, con este equipo se logra alcanzar la producción (remoción de hojas y espinas) de hasta 15,709 rosas por jornada diaria.

Palabras clave: *floricultura, rosas, tallos, remoción.*

INTRODUCCIÓN

Una actividad fundamental previo a su venta final de rosas, es la limpieza y acondicionamiento de sus tallos, lo que en muchos casos es una operación manual. Actualmente las empresas que se dedican al proceso de limpieza de tallos, hojas y espinas, dependiendo de la fuerza laboral, podrían alcanzar una producción de hasta 12,000 flores por día, mediante un proceso manual. Para el mercado nacional, a los tallos de flores no se les remueven las hojas ni las espinas, sólo son recortados en su longitud; el proceso de limpieza se realiza en el paso previo a la entrega al cliente final. Sin embargo, para mercados internacionales, la limpieza de las flores es un requisito indispensable, así como el control de la longitud del tallo y el corte inclinado al final del tallo para maximizar la hidratación de las flores, estos requerimientos deben de cumplirse previo al embarque y requiere una fuerza laboral apreciable para realizar el proceso de limpieza de todo el embarque de manera manual y un solo día.

Debido al incremento de demanda de flores del mercado nacional para exportación, aunado a los procesos manuales actuales, se genera la necesidad de llevar el proceso de limpieza a un proceso semiautomático para poder cumplir con el incremento de demanda y los requerimientos y estándares de calidad de los clientes internacionales demandan.

ANTECEDENTES

México es una gran potencia en producción de flores, cada año se producen mil 200 millones de rosas, principalmente en los Estados de México, Morelos y Querétaro. Del total de la producción nacional, el 12% se exporta (280,000 t. de flores de corte) y los principales mercados de compra son Estados Unidos y Canadá. Tan sólo en el mercado ornamental nacional, los productores de flores generan alrededor de 188 mil empleos permanentes, 50 mil eventuales y un millón indirectos. En 2017, las exportaciones



agroalimentarias cerraron con ingresos por 32,583 millones de dólares. El cultivo de rosas en el país se realiza en una superficie de mil 504 hectáreas, principalmente de invernadero, y en los últimos tres años registró una producción promedio de 7.3 millones de gruesas (1 gruesa = 144 flores) (<http://www.2000agro.com.mx/floricultura/produccion-rosas-mexicanas/>, consultado enero 2018).

La calidad de las flores cosechadas depende de diferentes factores como pueden ser: la temperatura, la iluminación, la humedad, tipo de suelo, región, la época de cosecha, tipo de recolección, edad de la planta, entre otros. Estos factores en conjunto con la longitud y rectitud del tallo definen la calidad de la flor.

En cuanto a calidades, en el caso de las rosas, uno de los criterios principales es la longitud del tallo, la cual se clasifica como: calidad corta con longitud de tallo entre 40 y 50 cm, de segunda con longitudes entre 50 y 60 cm, primera calidad con longitudes entre 70 y 80 cm y calidad extra con longitud entre 80 y 90 cm (<https://www.infoagro.com/flores/flores/rosas2.htm>. Consultado en febrero 2019).

El proceso de cosecha de las rosas es un procedimiento manual y se pueden llegar a cosechar un estimado de entre 12,000 y 15,000 cortes de tallos al día, considerando la participación de seis personas por turno, durante dos turnos. Durante la cosecha de la rosa, el personal no realiza una medición de la longitud del tallo, él solo realiza el corte a la mayor longitud posible desde la ramificación principal. Durante la cosecha, se realiza una selección preliminar de calidad por la longitud y grosor del tallo, así como color, variedad y etapa de maduración de la rosa. Una vez cosechada la rosa, el mismo personal que realiza la cosecha ahora realiza la selección, acomodo en gruesas y corte de los tallos. Opcionalmente, previo al empaçado, se pueden remover el exceso de hojas, de manera no uniforme, por equipos rotativos con eje tipo molino de dedos.

Para el control de longitud se usan patrones graduados de madera en los cuales se acomoda la rosa de acuerdo al tamaño del tallo, cuando se acumula una gruesa en dichos patrones graduados, se realiza el corte para uniformizar la gruesa de rosas y procede acomodo y empaçado.

JUSTIFICACIÓN

Para acceder al mercado internacional en Estados Unidos y Canadá debe las rosas deben de cumplir con propiedades específicas que se logran durante el tiempo de crecimiento y maduración del rosal como puede ser el tipo de suelo, la altura, la humedad en el invernadero, la cantidad de sol y la temperatura de la zona del cultivo. Por otra parte, el mismo mercado, requiere que las rosas sean cosechadas y refrigeradas en un periodo corto de tiempo, buscando que se mantengan el mayor tiempo a baja temperatura ya que conserva sus propiedades durante el traslado terrestre desde el productor hasta el distribuidor en Estados Unido, Canadá o algún otro mercado internacional.

Para acceder a dichos mercados, adicionalmente se requiere que las rosas tengan presentación de “*bouquet*” (sin hojas ni espinas, de longitud determinada y con corte final a 45°), de otra manera su comercialización no es viable.

La producción nacional de rosas supera los requerimientos de calidad, pero carece de medios tecnológicos adecuados para procesar, en tiempo y forma, un lote grande de rosas con tratamiento tipo “*bouquet*”.

OBJETIVO

Desarrollar un equipo semiautomatizado que permita procesar más de 15, 000 tallos de rosas por día, controlando la longitud y ángulo de corte de los tallos por medio de cuchillas, conservando la calidad y estética de los tallos, partiendo de parámetros de diseño mecánico y experimentación y realizando las etapas de diseño mecánico que permitan su adecuada fabricación y validación de operación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Revisión del estado del arte y selección de soluciones conceptuales. Verificar el proceso actual con respecto algunas empresas dedicadas al cultivo, limpieza de hojas y corte de tallos



- Evaluar, mediante experimentación, los métodos actuales para democión de hojas y espinas en flores.
- Determinar la resistencia mecánica, en específico de diferentes tipos de rosas, a la tensión, compresión y cortante.
- Desarrollo de conceptos de solución y evaluación, buscando disminuir o eliminar cualquier daño mecánico que impacte en la calidad percibida de las rosas.
- Desarrollo de ingeniería, fabricación de componentes y ensamble de prototipo.
- Validación de operación: capacidad de producción, remoción de hojas y espinas, uniformidad en la longitud y ángulo del corte final.

HIPOTESIS PLANTEADAS

El sistema de proceso semicontinuo de tres estaciones en conjunto con un sistema de transporte de flores tipo “carrusel aéreo” puede lograr una producción superior a 15,000 rosas por día, dos turnos, 6 horas por turno.

Un mecanismo de limpieza vertical con tres estaciones de limpieza y corte, con desplazamiento vertical ayudará a tener un mejor flujo en el proceso.

Un sistema de para transporte de flores tipo “carrusel aéreo” brinda mayor ergonomía a los operadores, al momento de carga y descarga de producto, disminuyendo la fatiga crónica por jornada laborales extendidas.

Con un sistema semiautomatizado de remoción de hojas y espinas de tallos se logra mantener por debajo de 3% el daño mecánico a las rosas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron las instalaciones de CIATEQ A.C así también de sus áreas de diseño y de manufactura avanzada. El equipo se diseña usando la plataforma de modelado 3D SolidWorks. Para la fabricación se usan las capacidades y maquinaria de los laboratorios de pailería, maquinados y ensamble con las que se cuentan en las instalaciones de CIATEQ, A.C. Parque industrial Bernardo Quintana. En las pruebas de validación del equipo se utilizaron rosas provenientes de la Comunidad El Organal, San Juan del Rio, Qro. y del municipio Coatepec Harinas en el Estado de México. Las variedades de rosas usadas para validación de operación son: *Freedom* (Roja), *Samuray* (Roja), *P-cubo* (Roja), *Bella perla* (Blanca salmón), *Movistar* (Naranja) y *Cool water* (Lila).

La metodología de diseño es el resultado de la recopilación de información y la integración de las experiencias por grupos de ingenieros de CIATEQ, A.C. en desarrollos tecnológicos. De manera general, la metodología cuenta con los siguientes pasos:

- Revisión de estado del arte.
- Ingeniería conceptual y básica.
- Diseño de detalle.
- Fabricación, ensambles y pruebas.
- Instalación en sitio.
- Capacitación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Diseño

En esta etapa inicial se busca localizar y asimilar toda la información disponible en el estado del arte, visitas en campo para identificar los procesos actuales y a través de un *benchmarking*, de tal manera que se puedan generar soluciones conceptuales adecuadas y funcionales. Para la revisión de estado del arte, se recurre a una búsqueda de patentes a nivel internacional, los resultados se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1.- Patentes relevantes.

Numero	Año	Título
US 5062238	1990	<i>Rose thorn stripper</i>
JP 2631433	1997	<i>Rose cutting device</i>
US 5651212	1997	<i>Stripping thorns from rose stems</i>
CN 203762255	2014	<i>Rosa la evigata thorn removal device</i>
CN 104585421	2015	<i>Processing method of rosa-roxburghii leaf tea</i>
CN 105850534	2016	<i>Lifting rose thorn removing machine</i>
CN 106258333	2017	<i>Automatic cutting robot for rosa chinensis</i>
CN 106416772	2017	<i>Rose branch thorn removing device</i>

A la par de la búsqueda de patentes, se realiza la revisión de los procesos de remoción de hojas y espinas actuales. Los métodos manuales más comunes se muestran en la Fig. 1. La Fig. 1a muestra el proceso manual con navaja o pinza, este es el método más común en la venta al menudeo. La Fig. 1b muestra el proceso con herramienta de limpieza, ésta abraza por su diámetro al tallo de las rosas y se desplaza hacia el extremo libre del tallo, la limpieza se logra por un efecto cortante entre la herramienta y las hojas y espinas. En ambos métodos la limpieza se realiza de un tallo a la vez. Éste es un método efectivo cuando el requerimiento de

Otro de los métodos de remoción es por medio de un molino giratorio de “dedos” flexibles (Ver Fig. 2). En este método, a diferencia de los anteriores, se puede hacer la limpieza de un conjunto de tallos a la vez. Es muy efectivo y rápido para remover las hojas, pero no remueve las espinas y su precisión de limpieza depende del operador.



a)



b)

Fig. 1.- Herramientas manuales



Fig. 2.- Equipo para desprendimiento de hojas.

Para ambos métodos, a nivel nacional, existen múltiples proveedores y una amplia gama de precios y calidades. Sin embargo, ninguna de las soluciones encontradas realiza la remoción con gran capacidad de procesamiento y removiendo a la vez hojas y espinas de manera controlada.

Resultado de la revisión del estado del arte, del Benchmarking y de la visita a productores de flores locales en Qro, se define un concepto de solución (Ver Fig. 3, 4 y 5) basado en el proceso manual tipo herramienta (Fig. 1b) pero con modificaciones que permiten un procesamiento a mediana escala. La Fig. 3 muestra el concepto del mecanismo de limpieza con las pinzas de limpieza (1 y 2) abiertas. La Fig. 4 muestra el mismo mecanismo, en vista superior, durante el proceso de cierre de las pinzas de limpieza; la proyección del espacio que se observa entre la pinza 1 y 2, es el espacio que será ocupado por el tallo de la flor a procesar.

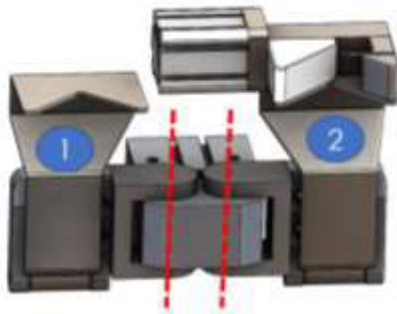


Fig.3.- Mecanismo de limpieza “abierto”.

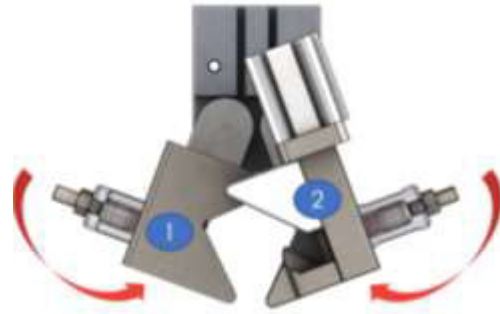


Fig. 4.- Mecanismo de limpieza “cerrando”.

La Fig. 5, muestra el mecanismo de limpieza en configuración cerrada. El pequeño espacio que se proyecta en medio de la pinza 1 y la pinza 2, es el espacio definido por el tallo de las flores. Dicho espacio es ajustable.

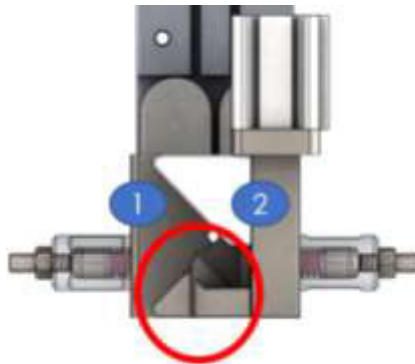


Fig. 5.- Mecanismo de limpieza “cerrado”.

Validación preliminar del concepto

Adicional a la adecuada funcionalidad de los mecanismos de limpieza, se requiere realizar la estimación de la productividad. Para llevar a cabo esta evaluación se recurre a dos métodos, por simulación de tiempos y movimientos y por estimación numérica en base a tiempos logrados en una primera evaluación operativa. La simulación, ver Fig. 6, toma un turno de operación en el horario de 8:00 am a 3:00 pm. Como resultado se obtiene una producción estimada de 9,961 flores procesadas y una ocupación de 50.7% para el operador que realiza la carga de las rosas y 13.4% para el operador que realiza la descarga de las rosas procesadas.



Figura 6. Análisis de tiempos y movimientos.



En base a las pruebas de concepto se realiza la estimación de producción, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.- Estimación de procesamiento de rosas.

Numero de ciclos	1 Ciclos
Tiempo de prueba (total)	176 Seg
Estaciones por ciclo	64
Estaciones con rosas	64
Tiempo por ciclo (conveyor)	176 Seg
	2.75 Seg/rosa
Turnos por día	2 Turnos/Día
Horas por turno	6 Horas/Turno
minutos por turno	360 Min/turno
Segundos por turnos	21,600 Seg/turno
Rosas por turno	7,854.55 Rosas por turno
Rosas por día	15,709 Rosa por día

Tanto en el caso de la simulación como la estimación numérica se obtiene una proyección de producción mayor al requerimiento definido.

Fabricación, ensamble y pruebas de funcionalidad.

La fabricación se lleva a cabo por dos procesos principales. Por una parte, las piezas mecano- soldadas en el laboratorio de pailería, por estos procesos se fabrica la estructura principal (Ver. Fig. 8), tolva, marcos de soporte y mesas elevadas para uso de los operadores. La otra parte de fabricación se realiza en los laboratorios de maquinados, aquí se maquinan los soportes de las rosas, la placa base de los mecanismos de limpieza y los propios mecanismos, además de componentes y aditamentos de sujeción y del sistema de transmisión.

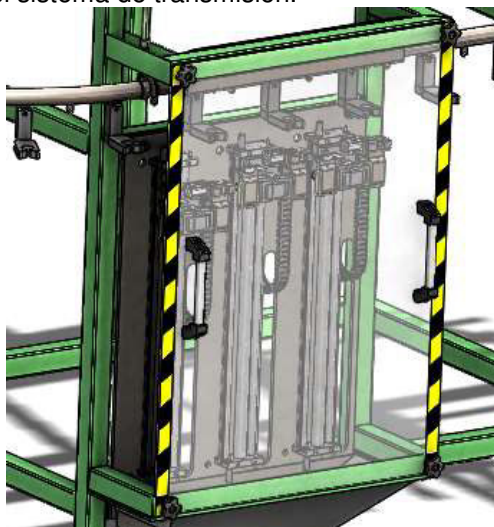


Figura 7. Ensamble de placa soporte y módulos de limpieza y corte.



Figura 8. Soporte principal habilitado.



El ensamble terminado se presenta en la Fig. 9. En ella se aprecia el transportador tipo “carrusel aéreo” en el cual se posicionan las flores y son transportadas a la zona de limpieza. También se aprecian las bases elevadas para los operadores, el gabinete de control y la banda transportadora para desalojo de residuos.

Validación preliminar del prototipo.

Para verificar que todos los componentes trabajan adecuadamente y de acuerdo a la intención de diseño, se realiza una serie de pruebas de funcionamiento por subensambles y ensambles, partiendo inicialmente de los mecanismos de limpieza y corte, cada uno de manera independientes y posteriormente de manera conjunta. El transportador tipo “carrusel aéreo” y su sistema de transmisión también son validados en esta etapa. Terminadas las pruebas parciales se realizan pruebas de operación conjunta que permiten la evaluación y capacidad de los sistemas, así como la lógica y programación de operación.

La Fig. 10 muestra la zona de procesamiento, en conjunto con los tres módulos de limpieza y corte y en cada uno de ellos, una rosa a ser procesada. Debe notarse, en la Fig. 10, que las rosas son transportadas por una base diseñada específicamente para este fin y cada base es desplazada desde la zona de carga de rosas a la zona de procesamiento y después a la zona de descarga de rosas, por la acción del transportador tipo “carrusel aéreo”. De esta manera los operadores se mantienen a distancia segura de la zona de procesamiento.



Figura 9. Ensamble final.



Figura 10. Módulos de limpieza y corte, con rosas en casa estación.

La Fig. 11 muestra cómo el módulo de limpieza y corte aprisiona el tallo de la rosa a ser procesada, previo al inicio del procesamiento.

Para realizar el procesamiento, el módulo de limpieza y corte en configuración cerrada, se desplaza verticalmente hacia abajo. La acción conjunta de las pinzas del módulo de limpieza y corte y el desplazamiento realizan el desprendimiento controlado de las hojas y espinas del tallo de las rosas., en la Fig. 12 se aprecia el módulo de limpieza y corte en su final de carrera y el tallo de la rosa se encuentra libre de hojas y espinas.



Figura 11. Módulo de limpieza y corte en configuración cerrada.



Figura 12. Limpieza de tallo.

Para maximizar la hidratación de las rosas es requerido realiza el corte a 45° al final del tallo. Esta operación se realiza cuando el módulo de limpieza y corte se encuentra en si final de carrera. La Fig. 13 muestra el detalle del corte en ángulo al final del tallo.

La Fig. 14 muestra los resultados del procesamiento de rosas, durante las pruebas de calibración y usando una muestra 144 de rosas. Debe notarse que las rosas ya procesadas mantienen dos o tres hojas en la parte superior, esto por indicación de los productores y comercializadores de rosas.



Figura 13. Final del tallo, corte en ángulo



Figura 14. Conjunto de tallos procesados, durante pruebas de calibración.

CONCLUSIONES

A partir de simulaciones de tiempos y movimientos se puede determinar con un nivel de aproximación cercano al 92% la capacidad de procesamientos de equipos de propósito específico, puesto que las proyecciones de procesamiento durante las pruebas extendidas reportan un procesamiento objetivo de 15,709 rosas por día, y por simulación se estima una producción de 17,076 rosas en el mismo periodo de tiempo. La misma simulación permite conocer el nivel de ocupación de cada uno de los operadores, la simulación reporta que un mismo operador es capaz de realizar el proceso de carga y descarga de las flores en el transportador tipo “carrusel aéreo”, sin embargo, en la operación se determina que no es práctico, ya que se involucran actividades como el acarreo de producto de los almacenes temporales a la zona de carga y de la zona de carga a la zona de acomodo y empaquetado.



José Calzada Rovirosa. 2018. México produce mil 200 millones de rosas al año. <https://heraldodemexico.com.mx/economia/2018/2/14/mexico-produce-mil-200-millones-de-rosas-al-ano-sagarpa-32679.html>.

Sanchez Jimenez J.C., Correa Olvera L.E., Álvarez Pérez M.A., Cruz Cruz B. 2018. Reporte Final “Diseño, desarrollo y construcción de un equipo para retirar las hojas y espinas de tallos de rosas. Reporte técnico interno”. Proyecto vinculado con la empresa Agroproductores Laraflor S.C. de P. de R.L. de C.V.

Patente en trámite. MX/a/2019/006718. SISTEMA Y PROCESO DE LIMPIEZA Y CORTE DE TALLOS RÍGIDOS DE FLORES. Sanchez Jimenez J.C., Correa Olvera L.E., Álvarez Pérez M.A., Cruz Cruz B., Escamilla Martínez A.



VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ACEITE DE PIMIENTA GORDA EN ÁRBOLES DE UNA PLANTACIÓN Y AISLADOS

OIL CONTENT VARIATION OF ALLSPICE IN TREES FROM A PLANTATION AND ISOLATED

¹Honorato Salazar JA, ¹Perez Santacruz J, ¹Ríos Sánchez R, ²Ramirez González JJM

¹INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental San Martinito, km 52.5 56.5 Carretera Federal México-Puebla, San Martinito, Tlahuapan, Puebla, México

²INIFAP. CIRGOC. Sitio Experimental Las Margaritas. Km. 9.5 Carr. Hueytamalco-Tenampulco Hueytamalco, Puebla, México.

Autor para correspondencia: honorato.amador@inifap.gob.mx

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar el contenido de aceite de los frutos de pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merr.) árboles aislados y árboles de una plantación para identificar los individuos que producen frutos con alto contenido de aceite, de los cuales se puede obtener material vegetativo para la propagación por injerto, así como establecer si los frutos cumplen con las normas vigentes de calidad. Tres muestras de 300 g de frutos verdes de pimienta fueron obtenidas de cada árbol y secados por 15 días al sol cubiertos con un plástico negro calibre 600. De cada muestra se molieron dos porciones de 25 g de frutos secos, tamizándose entre mallas de 0.425 mm y 0.250 mm, para después tomar de cada porción 10 g y realizar una extracción de 30 ciclos con hexano en un equipo Soxhlet. El contenido de aceite se determinó gravimétricamente. Los datos del contenido de aceite se les realizó un análisis de varianza, seguido de una comparación múltiple de medias (significancia mínima, $\alpha = 0.05$) y un análisis de agrupamiento de los valores promedio usando el programa estadístico SAS. El contenido de aceite de los frutos fue de 5.9 a 13.5%, con una variación del 12.4%, presentando diferencias significativas ($F = 9.75$, $p < 0.0001$) entre los valores promedio de los frutos de árboles aislados y árboles en plantación, siendo en general mayor en los árboles aislados. Asimismo, de acuerdo con el contenido de aceite se identificaron 4 grupos de árboles con rangos específicos en su contenido de aceite. En general, los frutos de pimienta gorda de los árboles en plantación tienen menor cantidad de aceite que los árboles aislados; sin embargo, cumplen con la cantidad especificada (3%) por las normas vigentes para su comercialización.

Palabras clave: *Pimenta dioica*, especias, aceite.

INTRODUCCION

La pimienta gorda (*Pimenta dioica* (L.) Merr.) es originaria de México, Centroamérica y las islas vecinas de El Caribe (Wisse, 2002). Se distribuye la vertiente del Golfo de México, desde el norte de Puebla y Veracruz hasta el sur de la Península de Yucatán (Martínez et al., 2013; CONABIO, 2018).

Los frutos secos de la pimienta gorda tienen la mezcla de sabor y aroma característicos de cuatro especies: el clavo, la nuez moscada, la canela y la pimienta, por lo que también se le conoce como “toda especie” (“allspice”) (Wisse, 2002). Esta cualidad hace que la pimienta gorda sea muy demandada por la industria alimenticia (65-75% de la producción) y para la obtención de aceites esenciales (20-25%) (Wisse, 2002), por lo que la demanda mundial ha crecido alrededor de 3.5% anual (USAID, 2011).

En el SIAP (2021) se reporta para 2019 una superficie respectiva sembrada y cosechada de 3,536.85 y 3,242.6 hectáreas de pimienta, con una producción de 9,384.33 toneladas, siendo Veracruz (76.7%), Puebla (12.1), Tabasco (9.55) y Chiapas (1.9%) los principales estados productores. Sin embargo, se desconoce la producción real de pimienta gorda debido a que los datos incluyen la producción de pimienta negra (*Piper nigrum* L.). Asimismo, existe poca superficie plantada de pimienta gorda, por lo que su producción es principalmente de la recolección del fruto en árboles aislados silvestres, árboles de traspatio, árboles delimitantes de terrenos de productores y árboles plantados en sistemas agroforestales (Machuca et al., 2020).

Aun con la limitante de plantaciones de pimienta gorda, México, después de Jamaica, es uno de los principales productores, seguido de Honduras y Guatemala (USAID, 2011) y exporta el 95% de su



producción (en promedio 7,259 toneladas) a países del Medio Oriente, Europa y Estados Unidos (Córdoba, 2017).

Una de las propiedades que determinan la calidad de los frutos de pimienta gorda es su contenido de aceites esenciales, que se refleja en el valor comercial en el mercado internacional, por lo que, a mayor contenido de aceite, mayor valor por tonelada (Gayle, 2013). En promedio, el contenido de aceite de los frutos de pimienta en México varía de 1.9 a 2.5% (García-Fajardo *et al.*, 1997; Martínez-Velázquez *et al.*, 2011), mientras que en los de Jamaica es de 2.8 a 4.5% (García-Fajardo *et al.*, 1997; Weiss, 2002; Padmakumari *et al.*, 2011), por lo cual se considera que la pimienta gorda de Jamaica es de mejor calidad y su precio por tonelada es mayor y también, las normas vigentes de calidad de pimienta gorda (SCFI, 1987; ISO, 1999), establecen que el contenido aceite debe ser igual o mayor a 3% para frutos enteros y mayor o igual a 2% para frutos molidos.

Existen limitados estudios en México sobre el contenido de aceites de los frutos de pimienta gorda (García-Fajardo *et al.*, 1997; Cruz-Olivares *et al.*, 2007; Guzmán, 2011) por lo que es importante determinar la cantidad de aceite para saber si los frutos cumplen con las normas vigentes de calidad para su comercialización y proporcionar elementos cuantitativos para la selección de genotipos sobresalientes en contenido de aceite. Por lo tanto, el presente trabajo se realizó con el objetivo de cuantificar el contenido de aceite de los frutos de pimienta gorda colectados en árboles aislados y en árboles de una plantación para identificar los individuos que produzcan frutos con alto contenido de aceite, de los cuales se puede obtener material vegetativo para la propagación por injerto que permitan establecer plantaciones comerciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos verdes de pimienta gorda fueron colectados en 10 árboles aislados, ubicados en 9 localidades del norte del estado de Puebla, en los municipios de Cuetzalan del Progreso, Hermenegildo Galeana, Jonotla, Tuzamapan de Galena y Zoquiapan (Figura 1), en un rango de 190 a 600 m de altitud. Adicionalmente se colectaron muestras de frutos verdes de pimienta gorda en 10 árboles, considerados como más productivos, en una plantación de pimienta gorda de dos hectáreas con una densidad de 1250 árboles por hectárea y ubicada en el Sitio Experimental Las Margaritas (20°00'12.79" N, 97°18'33" W, Hueytamalco), a 450 m de altitud. Para cada árbol, se tomaron 3 muestras de 300 g de los frutos colectados, que después fueron secados al medio ambiente en espacio abierto, cubiertos por un plástico negro calibre 600 (0.1524 mm) hasta que alcanzaron un peso constante (15 días).

Al término del secado, se tomaron 2 porciones de frutos de 25 g de cada muestra y se molieron por separado en un molino para café. El material molido de cada porción se tamizó entre mallas del número 40 (0.425 mm) y 60 (0.250 mm), pesando después 10 g de la fracción retenida en la malla 60 para la extracción de aceite con 150 mL de hexano, dando un total de 6 repeticiones por árbol.

Previo a la extracción, se determinó el contenido de humedad del material molido en una balanza termo gravimétrica Ohaus MB45 calibrada. Asimismo, los vasos receptores de solvente se secaron en una estufa por 24 horas a 100 ± 2 °C, se enfriaron y se pesaron.

La extracción de aceite del material molido se realizó en un equipo Soxhlet Büchi E-816 SOX automatizado y programable con 6 unidades de extracción. Los 10 g de material molido seco se colocaron en un dedal de extracción de celulosa para después introducirse en la cámara de extracción Soxhlet, se añadieron 150 mL de hexano en el vaso receptor de solventes y se armó la unidad de extracción con el refrigerante. Esta operación se repitió para cada una de las unidades de extracción. El equipo se programó para que realizará 30 ciclos de extracción, con lavado y secado automático de cada unidad de extracción, colectándose el aceite extraído en cada uno de los vasos receptores de solvente. Después de la extracción, se desmontó el equipo y los vasos con el aceite se colocaron en una estufa de secado por 24 horas a 100 ± 2 °C para eliminar el posible remanente de solvente; posteriormente los vasos se enfriaron y se pesaron. El contenido de aceite se calculó como la relación del peso del aceite y el peso seco de la muestra.

Los datos del contenido de aceite se les realizó un análisis de varianza (ANDEVA), considerando como fuente de variación los árboles seleccionados, seguido de una comparación múltiple de medias con el método significancia mínima ($\alpha = 0.05$). Posteriormente se efectuó un análisis de agrupamiento con los valores promedio con la finalidad de identificar si existen similitudes o asociaciones entre el contenido de aceite de los árboles aislados y de la plantación de pimienta gorda. En ambos análisis se usó el

programa estadístico SAS (SAS, 2009), con los procedimientos respectivos de ANOVA y CLUSTER con el método de agrupamiento promedio.

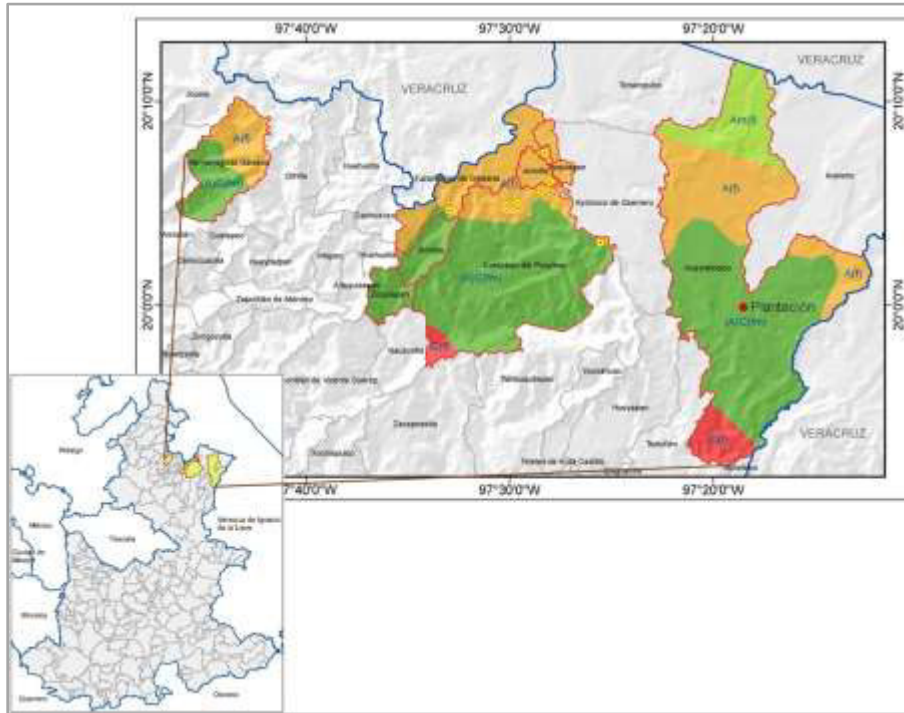


Figura 1. Localización geográfica de la colecta de árboles aislados y de la plantación de pimienta gorda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las claves asignadas a los árboles aislados corresponden a las iniciales de los productores y los árboles de la plantación corresponden a la hilera y número de árbol en el terreno.

El contenido de aceite de los frutos presentó una variación general de 12.4% con un rango de 5.9 a 13.5% y un promedio total de $9.31 \pm 1.16\%$. Estos valores son mayores al 3% que especifican normas vigentes de pimienta gorda (SCFI, 1987; ISO, 1999), por lo cual cumplen este requerimiento para su comercialización.

Los resultados del ANDEVA indicaron diferencias significativas (Valor de $F = 9.75$, $p < 0.0001$) entre los contenidos de aceite promedio de los frutos colectados en árboles aislados y en los de la plantación (Cuadro 1). Los valores más altos de aceite (mayor a 10.5%) se obtuvieron en los frutos de 4 árboles aislados, mientras que los valores más bajos (menor a 7.0%) fueron en los frutos de 5 árboles de la plantación. Estos valores son mayores a los reportados por García-Fajardo *et al.* (1997) y Cruz-Olivares *et al.* (2007), quienes obtuvieron contenidos de aceite de 1.9 a 4.0% en frutos de pimienta gorda de México; por su parte, Guzmán (2011), encontró contenidos de aceite de 4 al 9% para pimienta gorda de la Sierra del Totonacapan, Veracruz, que están dentro del rango encontrado en este estudio.

El contenido de aceite de los frutos de pimienta gorda es afectado por la procedencia, el método de extracción y el tipo de solvente utilizado para la extracción de aceites (García-Fajardo *et al.*, 1997; Cruz-Olivares *et al.*, 2007; Guzmán, 2011; Stewart *et al.*, 2016), lo cual se muestra en la diferencia de valores obtenidos en este estudio y los encontrados en otros estudios.



Cuadro 1. Contenido de aceite promedio de pimienta gorda y agrupación de árboles aislados y de plantación.

Muestra	Tipo de árbol	Promedio (%) \pm desviación estándar	Grupo
EM1	Aislado	11.70 \pm 1.792 a	2
MMH	Aislado	10.95 \pm 0.952 a b	2
EM2	Aislado	10.91 \pm 1.159 a b	2
AOM	Aislado	10.60 \pm 1.677 a b c	2
H18P34	Plantación	10.57 \pm 0.666 a b c	2
OBH	Aislado	10.01 \pm 1.491 d b c	3
LRG	Aislado	9.96 \pm 0.483 d b c	3
H02P32	Plantación	9.77 \pm 0.562 d b c	3
MFI	Aislado	9.70 \pm 0.903 d b c e	3
AECL	Aislado	9.67 \pm 0.542 d b c e	3
H12P08	Plantación	9.02 \pm 0.834 d f c e	4
MDB	Aislado	8.90 \pm 1.585 d f e	4
H10P38	Plantación	8.10 \pm 0.375 g f e	4
H20P45	Plantación	7.97 \pm 0.757 g f h	4
OFV	Aislado	7.30 \pm 1.395 g h	1
H20P24	Plantación	7.21 \pm 1.008 g h	1
H16P21	Plantación	6.64 \pm 0.196 g h	1
H04P13	Plantación	6.60 \pm 0.456 g h	1
H02P15	Plantación	6.60 \pm 0.422 g h	1
H08P10	Plantación	6.45 \pm 0.628 h	1

Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

El análisis de agrupamiento permite conjuntar los árboles por el contenido de aceite de sus frutos en grupos que tienden a ser similares entre sí y diferentes a otros grupos (SAS, 2017). Los resultados de este análisis muestran que los árboles se pueden agrupar inicialmente en 2 grupos distintivos (Figura 2), con una proporción de varianza para los grupos del 76.4% (R^2) y una distancia promedio entre grupos de 0.80. En un grupo se asocian la mayoría de los árboles aislados con un contenido de aceite mayor a 9.6% y en el otro grupo se combinan la mayor parte los árboles de la plantación con contenidos de aceite menor a 9.1%. Cuando la proporción de varianza para los grupos aumenta a 94.2% (R^2) se conforman 4 grupos con una distancia promedio de 0.40. En el primer grupo se encuentran los árboles con contenidos de aceite mayores a 10.5%, el segundo grupo está constituido por los árboles con contenidos de aceite entre 9.6 y 10.1%, el tercer grupo formado por los árboles con contenidos de aceite de 7.9 a 9.1% y en el cuarto grupo se encuentran los árboles con valores menores o iguales a 3.0% en su contenido de aceite.

La variación en el contenido de aceite también puede atribuirse a la diferencia en la condiciones de crecimiento, los árboles aislados se encuentran en un clima cálido húmedo con temperatura media anual de 22 a 26 °C [a(f)], mientras que los árboles de la plantación se encuentran en un clima semicálido con temperatura media anual de 20 a 22°C [(A)C(fm)] (CONABIO, 2001) y concuerda con los resultados de Guzmán (2011), quien reporta variaciones en el contenido de aceite de los frutos de pimienta gorda colectados en árboles ubicados en 15 localidades la Sierra del Totonacapan, Veracruz.

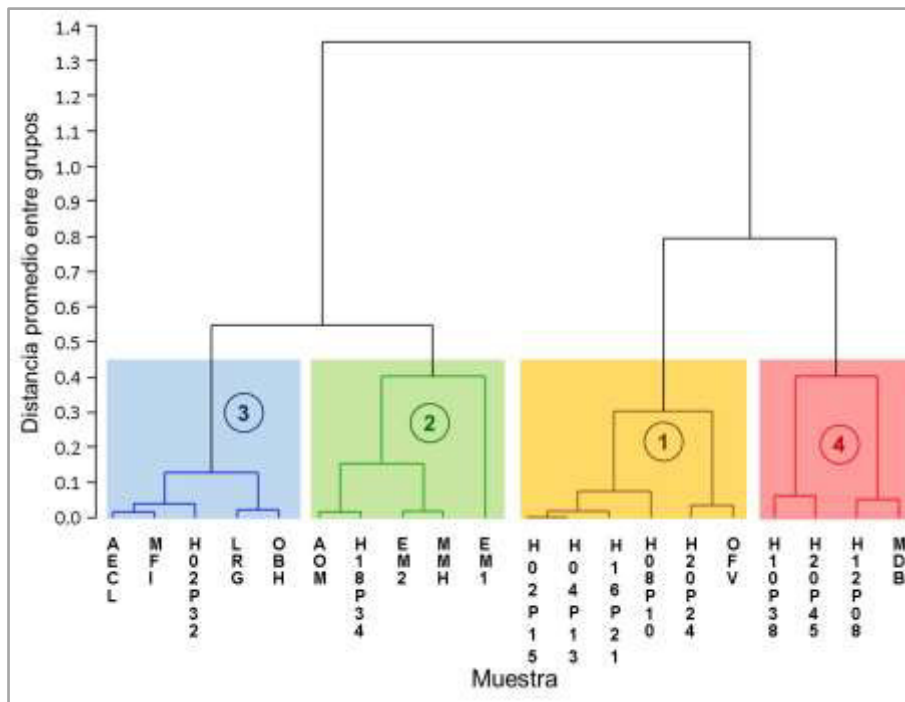


Figura 2. Agrupación de árboles de pimienta gorda aislados y de plantación por su contenido de aceite de los frutos.

CONCLUSIONES

El contenido de aceite de los frutos de pimienta gorda provenientes de árboles aislados y de plantación fue mayor al 3%, especificado por las normas vigentes de pimienta gorda para su comercialización. La mayor parte de los frutos de pimienta gorda de los árboles aislados contienen mayor cantidad de aceite que los de árboles una plantación. La cantidad de aceite es afectada por las condiciones de crecimiento de los árboles.

LITERATURA CITADA

- CONABIO. 2001. Mapa 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=clima1mgw> (consultado 23 de marzo de 2016).
- CONABIO. 2018. Pimienta dioica. Pimienta dioica-CONABIO.pdf http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/51-myrta2m.pdf, (consultado el 3 junio de 2018).
- Córdoba, C. P. 2017. Pimienta y Mercado Diferenciado. Asociaciones Agroindustriales Serranas S.A. de C.V. http://www.redinnovagro.in/casosexito/2017/Pimienta_Asociaciones_A_Serranas.pdf (consultado el 8 de septiembre de 2019)
- Cruz-Olivares, J., Pérez-Alonso, C. y Barrera-Pichardo, J. F. 2007. Extracción de aceite esencial de hojas y fruto de pimienta gorda mexicana (*Pimenta dioica* L. Merrill). Ciencias Agrícolas Informa 16: 37-40.
- García-Fajardo, J., Martínez-Sosa, M. Estarrón-Espinosa, G. Vilarem, A. Wet and J. M. de Santos. 1997. Comparative study of the oil and supercritical CO₂ extract of Mexican pimento (*Pimenta dioica* Merrill). Journal of Essential Oil Research 9 (2): 181-185.
- Gayle, J. R. 2013. Pimento. The Jamaican Allspice Story. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA). Phoenix Printery Limited, Jamaica. 78 p.
- Guzmán, A. A. 2011. Determinación de las especificaciones químicas de la *Pimenta dioica* (Pimienta gorda) de 15 comunidades de la Sierra Totonaca bajo la norma NMX-FF-063-1987. Tesis de



- Licenciatura. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Zona Poza Rica – Tuxpan. Poza Rica de Hidalgo, Ver. 50 p.
- International Organization for Standardization (ISO). 1999. International Standard ISO 973:1999. Pimento (allspice) [*Pimenta dioica* (L.) Merr.], whole or ground — Specification. 4 p.
- Machuca, P., Pulido-Salas, M. T. and Trabanino, F. 2020. Past and present of allspice (*Pimenta dioica*) in Mexico and Guatemala. *Revue d'ethnoécologie* 18 | 2020, doi:10.4000/ethnoecologie.6261.
- Martínez P. D., Hernández, G. M. A. y Martínez, G. E. G. 2013. La pimienta gorda en México (*Pimenta dioica* L. Merrill): avances y retos en la gestión de la innovación. Colección trópica húmedo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Chapingo, Edo. de México. 72 p.
- Martinez-Velazquez, M., Castillo-Herrera, G. A., Rosario-Cruz, R., Flores-Fernandez, J. M., Lopez-Ramirez, J., Hernandez-Gutierrez, R. and Lugo-Cervantes, E. C. 2011. Acaricidal effect and chemical composition of essential oils extracted from *Cuminum cyminum*, *Pimenta dioica* and *Ocimum basilicum* against the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). *Parasitol Res* 108:481–487.
- Padmakumari, K.P., Sasidharan, I. and Sreekumar, M. M. 2011. Composition and antioxidant activity of essential oil of pimento (*Pimenta dioica* (L) Merr.) from Jamaica. *Natural Product Research* 25(2): 152-160.
- SAS Institute Inc. (SAS). 2009. SAS for windows (Version 9.2 for Windows). Cary, NC. USA.
- SAS Institute Inc. (SAS). 2017. SAS/STAT® 14.3 User's Guide. The CLUSTER Procedure. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. p. 2193 – 2284.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). 1987. Norma Mexicana NMX-FF-063-1987. Especies y condimentos - pimienta gorda o tipo Jamaica (*Pimenta officinalis* o *Pimenta dioica* Merrill) entera en estado seco especificaciones. Dirección General de Normas, México, D. F. 12 p.
- SIAP, 2021. <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/producción-agrícola-33119> (consultado el 11 de mayo de 2021).
- Stewart, T.-M. A., Lowe, H. I. C. and Watson, C. T. 2016. Quantification and characterization of *Pimenta dioica* (Allspice) essential oil extracted via hydrodistillation, solvent and super critical fluid extraction methodologies. *American Journal of Essential Oils and Natural Products* 4(3): 27-30.
- USAID. 2011. The market for allspice. Market Survey #01. United States Agency for International Development. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00KNZJ.pdf (consultado el 17 de julio de 2019).
- Weiss E. A. 2002. Spice crops. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK. pp:122-131.



PRODUCCIÓN DE GRANO Y DE MATERIA SECA DE GENOTIPOS DE FRIJOL NEGRO EN TLAPACOYAN, VERACRUZ

GRAIN AND DRY MATTER PRODUCTION OF BLACK BEAN GENOTYPES IN TLAPACOYAN, VERACRUZ.

¹Rodríguez Rodríguez J. R. y ²Tosquy Valle O. H.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Ixtacuaco; km. 4.5 Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Tlapacoyan, Veracruz, Méx. ² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín, Veracruz, Méx.
Autor para correspondencia: rodriguez.jose@inifap.gob.mx

RESUMEN

Una buena producción de un cultivo resulta de la interacción entre el genotipo, el clima, y el manejo agronómico. El rendimiento proporciona una idea de los cultivares que canalizan mayor cantidad de fotosintatos hacia el grano; la materia seca que se acumula en él, indica la eficiencia en la producción, ya que en general, cuando se incrementa la materia seca, también aumenta el rendimiento de grano. En 2016, en el Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP, se condujo un experimento de genotipos de frijol negro en condiciones de humedad residual, con el objetivo de identificar los de mayor rendimiento, así como conocer la relación entre el rendimiento de grano, con sus componentes y con la producción de materia seca total y diaria. El ensayo se estableció en un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones, en parcelas de cuatro surcos de 5 m de longitud, separados a 60 cm, teniendo como parcela útil los dos surcos centrales. Durante el ensayo se registró la precipitación pluvial, la temperatura y la humedad relativa del ambiente. Las variables cuantificadas fueron: producción de vainas por planta, granos por vaina, peso de 100 granos (g), producción de materia seca aérea total (kg ha^{-1}) y diaria (g día^{-1}), y rendimiento de grano (kg ha^{-1}). Se realizó análisis de varianza, y para la separación de promedios se aplicó la Diferencia Mínima Significativa (DMS, 0.05); también se realizaron correlaciones de las variables involucradas con el rendimiento de grano. Verdín y Negro Tacaná fueron los genotipos más rendidores, y produjeron mayores cantidades de materia seca aérea total y por día; estas dos últimas características fueron las que más se asociaron positivamente ($r = 0.957^{**}$ y 0.970^{**} , respectivamente) con el rendimiento de grano, seguidas del peso de 100 granos ($r = 0.638^{**}$).

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, biomasa, componentes, correlación.

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante en el mundo, es la principal fuente de proteína vegetal y la más barata. El consumo *per cápita* en México es de alrededor de 10 kg por persona, con una tendencia a la baja. En 2019 se sembraron en el país 1'241'295 ha con un promedio de rendimiento de 544 kg ha^{-1} ; en el mismo año se sembraron en el estado de Veracruz 33,173 ha (SIAP, 2017). Factores tanto abióticos (sequía, baja fertilidad de suelo, etc.) como bióticos (plagas, enfermedades), causan severas pérdidas en el rendimiento (López-Salinas *et al.*, 2002; Singh y Schwartz, 2010; Treviño y Rosas, 2013). Cuando se incrementa la materia seca, también aumenta el rendimiento, ya que en diversos estudios se ha encontrado una relación muy estrecha entre ambos (Chavarín *et al.*, 2008; Escalante *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2017). En la transformación de órganos reproductivos, cuya secuencia conduce a la formación de grano, ocurren diferentes fenómenos fisiológicos, tales como la polinización, la abscisión de órganos reproductivos, el aborto de semillas y la ocurrencia de vainas vanas; todos ellos pueden contribuir a abatir el rendimiento (Kohashi-Shibata, 1990). La producción de grano por unidad de superficie proporciona una idea de los genotipos que canalizan mayor cantidad de fotosintatos hacia esa parte de la planta; y la cantidad de materia seca que se acumula en el grano, indica la eficiencia en la producción (Escalante y Kohashi, 1993; Rodríguez *et al.*, 2015a); durante la fase reproductiva las vainas y las semillas son los órganos más demandantes de



fotosintatos, y pueden representar más del 40% de la materia seca de una planta de frijol (Kohashi-Shibata,1990). Una serie de características del frijol que en conjunto contribuyen a la producción, se identifican como componentes del rendimiento, los principales son: el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina y el peso del grano. Para aumentar la producción se ha seleccionado un sólo factor individual entre estos componentes, pero los intentos que se han hecho generalmente no han dado los resultados esperados, debido a que existe un fenómeno en las plantas de frijol denominado “compensación de componentes”; y al aumentar alguno de ellos, los demás se reducen, ya que la planta tiende a mantener estabilidad en la producción; no obstante, esta compensación, proporciona la posibilidad de identificar una combinación óptima entre los componentes, y existe la posibilidad de seleccionar cultivares de alto rendimiento (White,1991). Todos los genotipos tienen diferente capacidad de producción de materia seca y grano, lo cual en gran parte está relacionado con su potencial genético, y su interacción con las condiciones de clima, suelo, prácticas agronómicas, plagas y enfermedades de las diferentes regiones en que se siembre el cultivo; esto hace necesario conocer el efecto de estas situaciones en las plantas para la mayor expresión de materia seca, de grano, y de sus componentes del rendimiento (Westermann y Crothers,1977). El objetivo de este trabajo fue evaluar un grupo de genotipos de frijol negro, para identificar los de mayor productividad, y conocer el grado de asociación entre los componentes del rendimiento, la materia seca y su producción diaria, con el rendimiento de grano.

MATERIALES Y METODOS

Durante el ciclo de otoño-invierno de 2016, en condiciones de humedad residual, se condujo un experimento de frijol en terrenos del Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP, ubicado en el municipio de Tlapacoyán, en el norte del estado de Veracruz, a 20° 02' de latitud norte y 97° 05' de longitud oeste, a una altitud de 88 m. El clima de la localidad es cálido húmedo Af(m)(e), con precipitación pluvial anual de 1743 mm y temperatura media anual de 24.0 °C (García,1987; Díaz *et al.*, 2006). El ensayo se conformó de cuatro genotipos de frijol negro: las variedades Negro Comapa, Negro Tacaná y Verdín, liberadas por el INIFAP, para el trópico húmedo del sureste de México y un material de origen desconocido denominado Negro Michigan. Los genotipos se sembraron a una densidad de 250,000 plantas por hectárea, en diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en parcelas experimentales de cuatro surcos de 5 m de longitud, separados a 60 cm, siendo como parcela útil los dos surcos centrales. En la etapa vegetativa del cultivo se realizó fertilización mineral al suelo con la fórmula 40-40-00, de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, utilizando como fuentes nutrimentales: urea (46% de N) y fosfato diamónico (DAP), grado 18-46-0 (López *et al.*, 1994); se hicieron dos escardas con azadón para mantener el cultivo libre de maleza; hubo presencia de plagas insectiles como doradillas (*Diabrotica* sp.), chicharritas (*Empoasca kraemeri*), las cuales se controlaron mediante la aplicación de un insecticida a base de imidacloprid (grupo Neoncotinoides) + betacyfluthrin (grupo Piretroides), en dosis de 1 mL de producto comercial por litro de agua (200 mL ha⁻¹); se agregó un fertilizante inorgánico foliar que contiene N-P-K y elementos menores, a razón de 10 mL por cada litro de agua (2 L ha⁻¹) de producto comercial; para mantener el cultivo libre de enfermedades y estimular la expresión de su potencial productivo, se aplicaron: Benomil en dosis de 0.5 kg ha⁻¹ de producto comercial, como preventivo contra antracnosis, mancha angular y mustia hilachosa y Oxiclورو de cobre a razón de 2 kg ha⁻¹ de producto comercial, como preventivo contra roya. Durante todo el ciclo fenológico del cultivo se registraron la precipitación pluvial (mm), la temperatura (°C) y la humedad relativa del ambiente (%) y se cuantificaron las siguientes variables de respuesta: 1. Número de vainas producidas por planta (promedio de 10 plantas tomadas al azar en cada parcela útil), 2. Número de granos por vaina (promedio en 20 vainas, de las 10 plantas tomadas al azar), 3. Peso de grano (promedio de 100 granos tomados al azar en cada parcela útil), 4. Materia seca aérea total producida, para lo cual se tomaron 10 plantas de cada parcela útil, se consideró la biomasa del tallo y las valvas de cada vaina, las cuales se colocaron en una estufa a 80 °C durante 72 horas, para deshidratarlas hasta que alcanzaran un peso constante, a esto se le agregó el peso del grano para obtener la materia seca aérea total, la cual se transformó a kilogramos por hectárea, 5. Materia seca aérea producida por día (kg ha⁻¹ día⁻¹), la cual resultó de dividir la materia seca aérea total entre el número de días a la madurez fisiológica y 6. Rendimiento de grano, que se estimó en kilogramos por hectárea al 14% de humedad. Con el paquete estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León, versión 2.5, se realizó análisis de varianza de las variables cuantificadas y para la separación de promedios se aplicó



la prueba basada en la Diferencia Mínima Significativa al 5% de probabilidad de error (DMS, 0.05). También se realizó análisis de correlación entre los valores promedio de cada variable cuantificada, con el rendimiento de grano (Olivares, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ciclo del cultivo, la precipitación pluvial total fue de 326.50 mm, bien distribuidos, la temperatura media fue de 22.23°C y la humedad relativa de 80.69%, (CEIXTA, 2017); estas condiciones fueron favorables para una buena expresión del crecimiento y desarrollo de los cultivares utilizados en este estudio (Ruíz-Corral *et al.*, 2013).

En el Cuadro 1, se muestra, que en todas las variables cuantificadas se detectó significancia estadística entre tratamientos, excepto en el número de vainas producidas por planta. Aunque esta característica es un componente importante para una mayor producción de frijol, (Garcés-Fiallos *et al.*, 2013; Morales-Rivera *et al.*, 2015; Baldoquin y Boicet, 2017), en este estudio, no se detectaron diferencias significativas, es decir, que todos los genotipos produjeron un número de vainas por planta estadísticamente similar, por lo que este componente no influyó positiva y significativamente en la obtención de un mayor rendimiento de frijol; datos semejantes fueron reportados por Rodríguez *et al.*, (2015 b) en un ensayo conducido en Veracruz.

Con respecto al número de granos por vaina, en el mismo cuadro se observa que tres genotipos tuvieron cantidades estadísticamente similares entre sí y fueron superiores al de la variedad Verdín; algunos autores señalan que el número de granos es uno de los componentes de mayor importancia, para determinar el rendimiento de grano, (Westermann y Crothers, 1977; Barrios-Gómez *et al.*, 2010; Escalante *et al.*, 2014), no obstante, esta característica en este ensayo no se relacionó con una mayor producción de frijol. A su vez, el peso de 100 granos de Verdín, fue significativamente superior, al del resto de los genotipos, debido en gran parte, a que el grano de esta variedad, es genéticamente de mayor tamaño y longitud, pero por tener un peso promedio alrededor de 25 g por 100 semillas, se clasifica como de tamaño pequeño, al igual que los otros tres genotipos, (SNICS, 2013).

Cuadro 1. Vainas por planta (VPP), granos por vaina (GPV) y peso de 100 granos (P100G) de cuatro genotipos de frijol negro evaluados en el Campo Experimental Ixtacuaco-INIFAP. Ciclo de otoño-invierno de 2016-17.

Genotipo	VPP	GPV	P100G (g)
Verdín	11.7	4.7 b	25.1 a
Negro Tacaná	14.1	5.8 a	22.1 bc
Negro Comapa	11.8	5.6 a	23.0 b
Negro Michigan	15.2	5.7 a	21.0 c
Promedio	13.20	5.45	22.8
Análisis de varianza	ns	*	**
CV (%)	15.47	9.22	3.71
DMS (0.05)	-	0.807	1.352

Valores medios con la misma letra en cada columna, son estadísticamente similares

En el Cuadro 2, se muestra que las variedades Verdín y Negro Tacaná produjeron cantidades de materia seca aérea total y por día estadísticamente semejantes entre sí, pero superiores a las obtenidas por Negro Comapa y Negro Michigan (Calero *et al.*, 2018). Estas mismas variedades fueron las más productivas, con un rendimiento de grano significativamente superior al de los otros dos genotipos, lo cual se debe en gran parte a una alta eficiencia fotosintética, con una mayor canalización de asimilados hacia el grano (Kohashi-Shibata, 1990; Rodríguez *et al.*, 2012; Escalante *et al.*, 2014). En el caso de la variedad Verdín, que produjo la menor cantidad de vainas por planta y granos por vaina, su alto rendimiento de grano, obedece en gran parte, al efecto compensatorio de los componentes de rendimiento (White, 1991), pues el peso de su grano fue significativamente mayor que el del resto de los genotipos, además de mostrar alta capacidad de producción de materia seca total y por día.



Cuadro 2. Materia seca aérea total (MSAT), materia seca aérea producida por día (MSAD) y rendimiento de grano (RG) de cuatro genotipos de frijol negro evaluados en el Campo Experimental Ixtacuaco-INIFAP. Ciclo de otoño-invierno de 2016-17.

Genotipos	MSAT (kg ha ⁻¹)	MSAD (kg ha ⁻¹ día ⁻¹)	RG (kg ha ⁻¹)
Verdín	2733.25 a	35.49 a	1824 a
Negro Tacaná	2737.25 a	33.37 a	1754 a
Negro Comapa	2463.25 b	30.41 b	1577 b
Negro Michigan	2236.25 b	27.60 b	1350 c
Promedio	2514.00	31.456	1582
Análisis de varianza	**	**	**
CV (%)	5.95	5.87	6.05
DMS (0.05)	239.074	2.955	157.40

Valores medios con la misma letra en cada columna, son estadísticamente similares

De las variables estudiadas sólo la producción de materia seca aérea total y por día, seguidas del peso de 100 granos se relacionaron positiva y significativamente con el rendimiento de grano ($r = 0.957^{**}$, 0.970^{**} y 0.638^{**} , respectivamente) (Gómez y Linderberg, 2005; Rodríguez *et al.*, 2017; Lescay *et al.*, 2017). La falta de asociación entre el número de vainas por planta ($r = 0.014$ ns) y granos por vaina ($r = 0.393$ ns), con el rendimiento de grano, se debe en gran parte, a que variedades como Verdín, que obtuvo los valores más bajos de estas dos características, fue el cultivar más rendidor, además de que se observó muy poca variabilidad en los componentes de rendimiento de los otros tres genotipos.

CONCLUSIONES

Las variedades Verdín y Negro Tacaná fueron los genotipos más productivos, los cuales tuvieron cantidades de biomasa aérea total y por día, significativamente superiores a las mostradas por las cultivares Negro Comapa y Negro Michigan.

La biomasa aérea total y la producida por día, fueron las características que más se asociaron significativamente con un mayor rendimiento de frijol, seguidas del peso de 100 granos.

LITERATURA CITADA

- Barrios-Gómez, E., C., López-Castañeda, J., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. 2010. Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44:481-489.
- Baldoquin, M. y C. Boicet. 2017. Efecto del estrés hídrico sobre el rendimiento y sus componentes de genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) en condiciones semicontroladas. REDEL. *Revista Granmense de Desarrollo Local. Universidad de Granma, Cuba* 1(2):115-124.
- Calero, A., Y., Castillo, E. Quintero, Y. Pérez, D. Olivera. 2018. Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias, Rev. Fac. Cienc. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín* 7(1):88-100.
- CEIXTA (Campo Experimental Ixtacuaco). 2017. Estación climatológica. Datos históricos de precipitación pluvial (mm), temperatura (°C) y humedad relativa (%), 2019-2020. <http://www.clima.inifap.gob.mx> (consultado el 20 abril de 2020).
- Chavarín, I., R. Lépiz y J. López. 2008. Fenología y acumulación de materia seca en variedades de frijol de diferente hábito de crecimiento. *In: Avances de la Investigación Científica en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA). Universidad de Guadalajara, México.* pp. 25-30
- Díaz, P. G., J. A. Ruiz C., M. A. Cano G., V. Serrano A. y G. Medina G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 13. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 292 p.
- Escalante, E. J., y J. Kohashi. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 84 p.
- Escalante, J., T. Rodríguez y Y. Escalante. 2014. Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del Nitrógeno. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 2(1):1- 8.



- Garcés-Fiallos, F., Á. Aguirre-Calderón, R. Garcés-Estrella, E. Díaz-Ocampo, F. Sánchez-Mora y O. Prieto-Benavides. 2013. Enfermedades y componentes de rendimiento en dieciséis genotipos de fréjol en Quevedo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología* 6(2):31-39.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4^a. ed. UNAM. México, D. F. 130 p.
- Gómez, O. and B. F. Linderberg. 2005. Yield formation in Nicaraguan landraces of common bean compared to bred cultivars. *Journal of Agricultural Science* 143(5):369-375.
- Kohashi-Shibata, J. 1990. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su elación con el rendimiento. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 44 p.
- Lescay, E., Y. Vázquez y F. Celeiro. 2017. Variabilidad y relaciones fenotípicas en variables morfoagronómicas en genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Centro Agrícola Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Granma, Cuba* 44(4):58-64.
- López, S. E., A. Durán P., E. N. Becerra L., V. A. Esqueda E. y O. Cano R. 1994. Manual de producción de frijol en el estado de Veracruz. Folleto para Productores Núm. 7. SARH. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 29 p.
- López-Salinas, E., N. Becerra, O. Cano y V. López. 2002. Detección de líneas y variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con resistencia múltiple a enfermedades en el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 20(2):193-199.
- Morales-Rivera, A., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, S. Miranda-Colín y A. García-Esteva. 2015. Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Terra Latinoamericana* 33(4):309-319.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales (programa de cómputo) versión 2.5. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México.
- Rodríguez, J. R., E. López, O. Tosquy y F. Ugalde. 2012. Rendimiento y eficiencia en la producción de frijol negro en el norte de Veracruz, México. *In: XXV Reunión Científica Tecnológica. Forestal y Agropecuaria y IV del Trópico Mexicano. Centro Reg. Univ. Oriente-UACH Huatusco, Ver.*
- Rodríguez J. R., E. López y O. H. Tosquy. 2015a. Fenología y eficiencia en la producción de grano de frijol en el norte de Veracruz, México. *In: Memorias XXVII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2015 y IV Simposio Internacional de Producción Agroalimentaria Tropical. Villahermosa, Tab. pp. 6-10.*
- Rodríguez, J. R., Tosquy, O. y E. López. 2015 b. Genotipos de frijol negro y su tolerancia a sequía terminal en Veracruz, México. *In: Figueroa, E., L. Godínez y P. Pérez-Soto (eds.). Ciencias de la Biología y Agronomía. Handbook T-1. ECORFAN. Texcoco de Mora, edo. de Méx., México. pp. 165-170.*
- Rodríguez J. R., E. López y O. H. Tosquy O. H. 2017. Rendimiento biológico y de grano de frijol negro en el norte de Veracruz. *In: Memoria Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. Veracruz, Ver. pp. 220-226.*
- Ruíz-Corral, J. A., G. Medina-García, I. J. González-Acuña, H. E. Flores-López, G. Ramírez-Ojeda, C. Ortiz-Trejo, K. F. Byerly-Murphy y R. A. Martínez-Parra. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal., México. 564 p. ISBN: 978-607-37-0188-4.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Cierre de la producción agrícola por cultivo. <http://www.siap.gob.mx> (consultado 3 de abril 2020).
- Singh, S. P. y H. F. Schwartz. 2010. Common bean for resistance to diseases: A review. *Crop Science Society of América* 50(6):2199-2223.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2013. Guía técnica para la descripción varietal. Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). SAGARPA. SNICS. Tlalnepantla, edo. de Méx., México. 24 p.
- Treviño, C. y R. Rosas 2013 El frijol común: factores que merman su producción. Centro de Biotecnología Genómica Instituto Politécnico Nacional. <http://www.researchgate.net/publication/319471946> (consultado el 29 junio de 2020).



-
- Westermann, D. and S. Crothers. 1977. Plant population effects on the seed yield components of beans. *Crop Science* 17:493-496.
- White, J. 1991. Conceptos básicos en fisiología de frijol. *In: Frijol: Investigación y producción*. López, M., F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds.) CIAT. Cali, Colombia. pp. 43-56.



DULCE COSTILLÓN Y PUKSIKAL ROJO, VARIEDADES DE CHILE DULCE CRIOLLO PARA YUCATÁN

DULCE COSTILLON AND PUKSIKAL ROJO, CREOLE SWEET CHILI VARIETIES FOR YUCATAN

¹Santamaría Basulto F, ¹Díaz Plaza R, ¹Basto Pool CI, ¹Zavala León MJ, ¹Tut Pech FJ

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mocochoá. Km 24 carr antigua Mérida-Motul, Mocochoá, Yucatán.
Autor para correspondencia: santamaria.felipe@inifap.gob.mx

RESUMEN

El chile dulce criollo se usa en Yucatán para condimentar platillos regionales, se comercializa en los mercados locales y se produce en solares, en pequeñas superficies y en siembras comerciales, los frutos pueden variar desde redondos a ligeramente alargados con los extremos achatados. La conservación de este chile depende de los agricultores tradicionales que guardan la semilla para el siguiente ciclo, los cultivares están poco caracterizados y no se cuenta con variedades mejoradas. El objetivo del presente trabajo es describir las características agronómicas y morfológicas de dos variedades experimentales del Banco de Germoplasma del Campo Experimental Mocochoá. En el primer ciclo (octubre 2019 a mayo 2020) se evaluó el rendimiento y se seleccionaron plantas con frutos de las características deseadas. En el segundo ciclo (septiembre 2020 a abril 2021) confirmamos la uniformidad de la forma de los frutos y se hizo la descripción de la planta, flor y fruto. Las dos variedades tienen características similares como los días a producción, pedúnculo de porte colgante, pigmentación antocianica en la antera, aspecto del cáliz no envolvente, cavidad peduncular de profundidad media y forma del ápice hundida. Pukikal Rojo tuvo rendimiento de 28.545 t/ha en un lapso de 3 meses, presenta hoja de forma lanceolada, el fruto es de forma acorazonada con longitud de 59 cm y 65 cm de ancho, la profundidad de los surcos interloculares es media, el número de lóculos va de 3 a 4. Dulce Costillón tuvo rendimiento de 40.822 t/ha en un periodo de 5 meses, presenta hoja de forma oval, el fruto es de forma aplanada con longitud de 56 cm y 70 cm de ancho, la profundidad de los surcos interloculares es profunda, el número de lóculos va de 3 a 5. Estas variedades presentan características que los diferencian entre ellas y entre los genotipos reportados.

Palabras clave: *variedades criollas, chile dulce, Capsicum.*

INTRODUCCIÓN

El chile dulce (*Capsicum annum*) se usa principalmente en Yucatán para condimentar platillos regionales, se comercializa en los mercados locales, se produce en los solares, en pequeñas superficies y en siembras comerciales con riego. Los frutos pueden variar desde redondos a ligeramente alargados con los extremos achatados, presenta de 2 a 4 lóculos muy bien definidos con la epidermis lisa, semirrugosa o rugosa, son de color verde en estado inmaduro y cambia a rojo al madurar (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). Los cultivares de la especie *Capsicum annum* que se siembran en Yucatán están poco caracterizados y no se cuenta con variedades mejoradas (González-Estrada *et al.*, 2010). La conservación del chile dulce criollo depende de los agricultores tradicionales que lo siembran y guardan la semilla para el siguiente ciclo (Montes y Martínez 1992; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

La obtención de variedades de chile dulce se ha enfocado al rendimiento y al tamaño y forma de fruto. Ix-Nahuat *et al.* (2013) evaluaron 11 poblaciones de chile dulce, encontraron que la población ITCD-209 colectada en Chemax, Yucatán tiene potencial para ser mejorada en cuanto a calidad de fruto debido a que presenta una relación largo/diámetro de 0.94 y rendimiento de 23.5 t/ha con un peso promedio de fruto de 33.8 g. La población ITCD-183 aunque presenta buen rendimiento (21.1 t/ha), tiene el inconveniente de presentar forma de fruto alargado y variable.

Chi-Kantún *et al.* (2017) evaluaron la respuesta a la selección masal en caracteres agronómicos y de rendimiento en variedades experimentales de chile dulce. Evaluaron las poblaciones de los tres ciclos



de selección masal (C1, C2 y C3) y las variedades originales (C0) D-209 y D-210 de chile dulce. La variedad D-209 (C3) posee frutos con forma de tipo pimentón con una longitud de 6.2 cm y un diámetro de 5.8 cm. La variedad D-210 (3) posee la forma cuadrada convencional para el mercado del chile dulce con valores de 6.2 y 6.0 cm para longitud y diámetro, respectivamente. En el ciclo tres (C3) D-209 tuvo un rendimiento de 868.0 g por planta (19.2 t/ha) lo que representó una ganancia del 24% en base a la población original y para D-210 de 861.0 g por planta (19.1 t/ha) con el 17% de ganancia.

El objetivo del presente trabajo es describir las características agronómicas y morfológicas de dos variedades experimentales de chile dulce del Banco de Germoplasma de Chiles del Campo Experimental Mocochoá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Puksikal Rojo es una variedad experimental previamente descrita como accesión P32 colectada en el Municipio de Muna, Yucatán, en el año 2011. Los frutos son más anchos en la parte de los hombros y menos anchos en la parte apical. Dulce Costillón es una variedad experimental previamente descrita como accesión YAXCHT colectada en la localidad de Yaxchekú del Municipio de Tizimín, Yucatán en febrero de 2018. Los frutos son menos largos que anchos y tienen los lóculos muy pronunciados.

Cada material tiene 2 ciclos de selección. El primer ciclo fue de octubre de 2019 a mayo de 2020, en este ciclo se evaluó el rendimiento y se seleccionaron plantas con frutos de las características deseadas para la extracción de semilla. El segundo ciclo fue de septiembre de 2020 a abril de 2021, en este ciclo se confirmó la uniformidad de la forma de los frutos y se hizo la descripción de la planta. Los dos ciclos fueron establecidos en un invernadero del Campo Experimental Mocochoá con techo de plástico y paredes de malla antiáfidos, de esta forma se evitó la polinización con otras plantas de chile debido a la ausencia de insectos polinizadores y a la baja velocidad de viento dentro de la nave del invernadero. En ambos ciclos se utilizaron distancias de 1.5 m entre líneas y 0.4 m entre plantas (16,650 plantas por hectárea).

En el primer ciclo las plantas se trasplantaron el 4 de octubre de 2019 (plantas de 38 días de edad). La parcela de cada variedad experimental constó de 8 plantas con 3 repeticiones. Se evaluó el rendimiento de fruto fresco por parcela y se reporta en toneladas por hectárea clasificado en porcentaje de frutos grandes, medianos y chicos. La cosecha se realizó cada 7-9 días separando los frutos tiernos (antes de madurez fisiológica) como se prefiere por una parte de los consumidores y frutos maduros (después de madurez fisiológica ya sea de color rojo, pintos o verdes). La clasificación de frutos por tamaño se hizo de forma arbitraria considerando el diámetro del fruto de acuerdo con la siguiente clasificación: frutos tiernos grandes (TG) de 8.0 a 9.0 cm, frutos tiernos chicos (TCH) de 6.0 a 7.0 cm, frutos maduros grandes (MG) de 8.6 a 10 cm, frutos maduros medianos (MM) de 7.1 a 8.5 cm, frutos maduros chicos (MCH) de 6.0 a 7.0 cm.

En el segundo ciclo las plantas se trasplantaron el 25 de septiembre de 2020. La parcela de cada variedad experimental constó de 8 plantas con 3 repeticiones. Se seleccionaron 21 descriptores morfológicos de planta, flor y fruto de acuerdo al manual de descriptores morfológicos para *Capsicum annuum* L. propuesto por la UPOV (2018) e identificados como discriminantes en estudios previos de caracterización (Pardey *et al.*, 2006). Cada descriptor se evaluó en 20 plantas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el primer ciclo las dos variedades iniciaron la producción el 13 de diciembre de 2019, después de 70 días del trasplante y 108 días de la siembra en semillero. Puksikal Rojo tuvo 12 cortes en un lapso de 3 meses con un rendimiento de 28.545 t/ha. Dulce Costillón tuvo 17 cortes en un periodo de 5 meses con un rendimiento de 40.822 t/ha (Cuadro 1). El mayor rendimiento de esta variedad se debe a la mayor duración del ciclo productivo. Si se considera el mismo periodo de 3 meses en las dos variedades, la producción fue de similar (25.119 t/ha).

En las dos variedades, cerca del 50 % de la producción se encuentra en la clasificación de frutos maduros grandes (de 8.6 a 10 cm de diámetro y de 60 a 80 g), al ampliarse el periodo de cosecha de 3 a 5 meses en la variedad Dulce Costillón se redujo el porcentaje de frutos maduros grandes, esto porque en los primeros meses se obtienen frutos de mayor tamaño. El rendimiento de las dos variedades



experimentales es alta considerando el rendimiento reportado para las poblaciones ITCD-209 e ITCD-183 de 23.5 y 21.1 t/ha (Ix-Nahuat *et al.*, 2013) y la de D-210 de 19.1 t/ha (Chi-Kantún *et al.*, 2017)

Cuadro 1.- Producción de frutos de diferente calidad por tamaño de 2 variedades experimentales de chile dulce criollo. Mocochá, Yucatán, 2019-2020

	Puksikal Rojo 3 meses	Dulce Costillón 3 meses	Dulce Costillón 5 meses
T ha ⁻¹	28.545	25.119	40.822
TCH (6.0 a 7.0 cm)	13.7 %	6.5 %	6.6 %
TG (8.0 a 9.0 cm)	21.2 %	16.1 %	9.5 %
MCH (6.0 a 7.0 cm)	6.4 %	7.2 %	23.4 %
MM (7.1 a 8.5 cm)	10.5 %	18.1 %	22.9 %
MG (8.6 a 10.0 cm)	48.2 %	52.2 %	37.7 %

TCH= frutos tiernos chicos, TG= frutos tiernos grandes, MG= frutos maduros grandes, MM= frutos maduros medianos, MCH= frutos maduros chicos.

En la descripción morfológica del segundo ciclo se encontraron características similares y características diferentes entre estas dos variedades. Dentro de las características similares se observó que las dos variedades tuvieron pedúnculo de porte colgante, pigmentación antocianica en la antera, aspecto del cáliz no envolvente, cavidad peduncular de profundidad media y forma del ápice hundida. Dentro de las características diferentes se encuentran el porte de la planta, la forma de la hoja y la forma del fruto. Puksikal Rojo desarrolló una altura de planta de 66 cm y diámetro de tallo de 13.4 mm los 190 días después de trasplante. Dulce Costillón es de porte más alto, desarrolló una altura de planta de 107 cm y diámetro del tallo de 16.0 mm en el mismo tiempo. Otra característica diferente es la forma de la hoja, Puksikal Rojo presenta hoja de forma lanceolada y Dulce Costillón tiene hoja de forma oval. La característica más distintiva es la forma del fruto, en la Figura 1 se presentan las imágenes de los frutos verdes y maduros representativos de estas dos variedades, el esquema en sección longitudinal tomado de un corte longitudinal de los frutos y el esquema de la forma en sección longitudinal reportado por la UPOV (2018). De forma gráfica se observa con mucha claridad la diferencia en la forma del fruto entre estas dos variedades. El fruto de Puksikal Rojo presenta forma acorazonada con longitud de 59 cm y 65 cm de ancho, de color verde y madura en rojo, por esta forma lleva su nombre, puksikal significa corazón en la lengua maya. La profundidad de los surcos interloculares es media y el número de lóculos va de 3 a 4. El fruto de Dulce Costillón presenta forma aplanada con longitud de 56 cm y 70 cm de ancho, de color verde y madura en rojo. La profundidad de los surcos interloculares es profunda y el número de lóculos va de 3 a 5, el número de lóculos y la profundidad de los surcos interloculares le dan el aspecto de costillas, de ahí el nombre de Dulce Costillón.

En el segundo ciclo de evaluación se mantuvieron en cosecha 14 plantas de la variedad Puksikal Rojo y 12 plantas de la variedad Dulce Costillón, el 100 % de las plantas de cada variedad tuvo la forma descrita por lo que ambas variedades fueron uniformes en cuanto a la característica de forma de fruto. Las dos variedades descritas tienen frutos con mayor ancho que largo, característica que es muy apreciada en este tipo de chile (Ix-Nahuat *et al.*, 2013), Además, estas variedades tienen forma diferente a los frutos reportados en los trabajos enfocados a la obtención de variedades, por ejemplo, La variedad D-209 tiene frutos en forma de tipo pimentón con una longitud de 6.2 cm y un diámetro de 5.8 cm y la variedad D-210 (3) posee la forma cuadrada convencional con valores de 6.2 y 6.0 cm para longitud y diámetro, respectivamente Chi-Kantún *et al.* (2017).

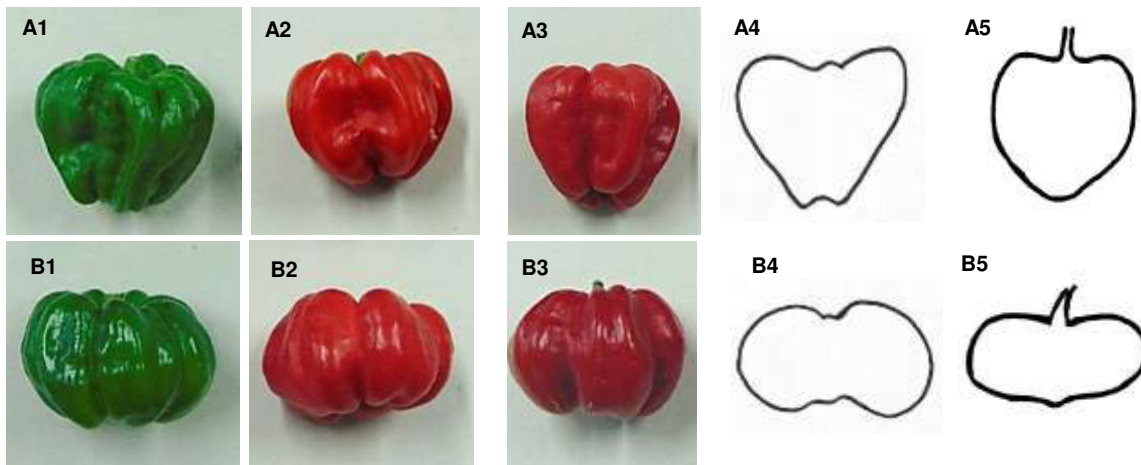


Figura 1.- Frutos y forma en sección longitudinal del fruto de 2 variedades de chile dulce. Frutos acorazonados de la variedad Puksikal Rojo, frutos verdes (A1), frutos maduros (A2, A3), esquema de forma en sección longitudinal del fruto (A4) y esquema de forma en sección longitudinal reportado por UPOV (A5). Frutos aplanados de la variedad Dulce Costillón, frutos verdes (B1), frutos maduros (B2, B3), esquema de forma en sección longitudinal del fruto (B4) y esquema de forma en sección longitudinal reportado por UPOV (B5).

CONCLUSIONES

Las variedades experimentales Dulce Costillón y Puksikal Rojo tiene características diferentes en el porte de la planta y la forma de la hoja. También son diferentes en la forma de fruto y la profundidad de los surcos interloculares, éstas son las principales características que los diferencian entre ellas y entre los materiales reportados de chile dulce criollo. El rendimiento por arriba de 25.000 t/ha en 3 meses es mayor a los materiales criollos reportados.

LITERATURA CITADA:

- Aguilar-Rincón, V.H., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villalón Mendoza, H., y Aguilar Castillo, J.A. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, ITConkal, UANL, UAN. Estado de México. 114p.
- Chi-Kantún, N. I., Latournerie-Moreno, L., López-Vázquez, J.S., Mijangos-Cortes, J.O., Pérez-Gutiérrez, A., Sánchez-Azcorra, P.S., y Castañón-Nájera, G. 2017. Selección masal en chile dulce criollo (*Capsicum annum* L.). *Agroproductividad*, 10(6): 98-103.
- González-Estrada, T., Casanova-Chávez, C., Gutiérrez-Pacheco, L., Torres-Tapia, L., Contreras-Martín, F. y Peraza-Sánchez, S. 2010. Chiles cultivados en Yucatán. *In: Durán, R. y Méndez, M. (eds) Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, Mérida, pp. 342-344.*
- Ix-Nahuat, J.H., Latournerie-Moreno, L., Pech-May, A. M., Pérez Gutiérrez, A., Tun-Suarez, J. M., Ayora-Ricalde, G., Mijangos-Cortes, J.O., Castañón-Nájera, G., López-Vázquez, J. S. y Montes-Hernández S. 2013. Valor agronómico de germoplasma de chile dulce (*Capsicum annum* L.) en Yucatán, México. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo. UJAT*, 29(3):231-242.
- Montes, C.F. y Martínez, C.J. 1992. Prácticas culturales relacionadas con la producción de semilla de chile. *In: Mendoza, O.L., Favela, C.E., Cano, R.P. y Esparza, M.J.H. Situación actual de la producción, investigación y comercio de semillas en México. Memoria tercer Simposium, Torreón, Coahuila, México. pp. 80-101.*
- Pardey, R.C., García, D.M., y Vallejo, C.F. 2006. Caracterización morfológica de cien introducciones de *Capsicum* del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. *Acta Agronómica*, 55:1-8.
- UPOV (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales). 2018. TG/76/8 Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. Ají, chile, pimiento. Código de la UPOV: CAPSI_ANN. *Capsicum annum* L. 53 p.



PRODUCCION DE FRIJOL A CIELO ABIERTO Y EN AMBIENTE PROTEGIDO EN EL CENTRO DE VERACRUZ

BEAN PRODUCTION IN OPEN SKY AND IN A PROTECTED ENVIRONMENT IN THE CENTER OF VERACRUZ

*¹Capetillo Burela Á.; ¹Zetina Lezama R.; ¹Reynolds Chávez M. A.; ¹Ugalde Acosta F.J.; ¹Matilde Hernández C.; ¹Espinoza Del Carmen A.; ²Cadena Zapata M.; ²López Lopez J. A.

¹Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. Km 34.5 Carretera Veracruz Córdoba, Medellín, Veracruz, México. Autor para correspondencia: capetillo.angel@inifap.gob.mx y zetina.rigoberto@inifap.gob.mx. Teléfono: 800 088 22 22, Extensión 87230 y 87254

²Universidad Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

Correo: martincadenaz@gmail.com, juan.alopez@uaaan.edu.mx

RESUMEN

En las últimas décadas los ciclos agrícolas han cambiado a tal grado que cada año se presentan diferentes condiciones de precipitaciones, vientos y sequías; y que ha ocasionado que las siembras de frijol de temporal presenten rendimientos por debajo de la media nacional ya sea por la escases o exceso de agua, así como vientos del norte. En octubre 2020 se establecieron 3 hectáreas de frijol negro Jamapa a cielo abierto, y una segunda siembra en 300 m² con la misma variedad en ambiente protegido. La siembra convencional contempló la preparación del terreno, fertilización con 40-40-40 unidades de N-P-K, siembra mecanizada, riego por gravedad, control químico de malezas y plagas, cosecha manual y trilla mecanizada. La siembra en ambiente protegido se realizó en seis camas de firma manual, control de malezas y plagas químico, riego por goteo, nutrición en drench, cosecha y trilla manual. Se encontró que la siembra de frijol a cielo abierto presentó problemas por plagas, malezas en sus etapas iniciales; así como daños en la floración por la presencia de vientos del norte, altos costos de aplicación foliar (cada 5 días) debido a los vientos del norte y altas temperaturas; mientras que la siembra en ambiente protegido sólo recibió tratamientos preventivos en el control de malezas, y plagas, riegos cada 5 días con un volumen de 1000 litros en 300 m². El rendimiento obtenido en la siembra a cielo abierto fue de 350 kg/ha; mientras que en ambiente protegido fue de 70 kg en 300 m²; lo cual, estimando este último rendimiento por hectárea de acuerdo a las dimensiones del bioespacio (300 m²) se estimó un rendimiento de 2.33 t/ha. Se concluye que la siembra de frijol negro Jamapa en ambiente protegido es una excelente alternativa para producir frijol para pequeños productores del trópico mexicano.

Palabras clave: *Temporal, riego, grano, humedad, suelo*

INTRODUCCIÓN

El frijol es uno de los cultivos de leguminosa más importante en México, se cosecha entre los meses de octubre a febrero y representa el 36% de la ingesta de proteína en el país; además, que fue cultivado en Mesoamérica hace 9 mil años y considerado como una de las principales especies que se integró a la dieta básica de las culturas indígenas que habitaban nuestro país Kaplan, (1965). Esta leguminosa ha formado parte importante de la dieta de los mexicanos y de su economía desde tiempos prehispánicos, por lo que forman parte de la cultura gastronómica de México; esto se dio gracias al mestizaje y mezcla con casi todos los ingredientes de nuestra cocina como la cebolla, el queso, epazote, entre otros. Además, que está presente en la mayoría de los antojitos mexicanos, desde las burritas y coyotas de Sonora, hasta los panuchos y salbutes de Yucatán, pasando por los tlacoyos, garnachas, pellizcadas y sopos, también por las enfrijoladas. Del frijol se consumen todas sus partes, sus flores, semillas y ejotes; ya sean tiernas o maduras; en algunas zonas de México, las semillas se sacan de la vaina y se muelen utilizándolas como ingredientes en la preparación de algunos tamales. Esto quiere decir que su variedad en platillos es única, ya que se pueden preparar de una sola planta, se puede decir que es un "planta integral" (Jacinto *et al.*, 1993).

En este sistema de cultivo generalmente se obtienen bajos niveles de producción, lo cual obedece en gran parte, a que generalmente las siembras comerciales de frijol están sometidas a una serie de problemas biológicos (malezas, plagas y enfermedades), climáticos (ocurrencia de periodos de sequía, altas temperaturas y vientos fuertes) y edáficos (suelos de baja fertilidad y ácidos), que hacen que los rendimientos de grano sean notoriamente bajos (promedio de alrededor de 0.7 t ha⁻¹ de frijol) (SIAP, 2020). Esta situación se hace más crítica, debido a que la mayoría de los agricultores de frijol, utilizan para la siembra grano como semilla, que proviene de materiales criollos de bajo potencial de rendimiento, adaptación muy limitada o específica y con características agronómicas indeseables (excesiva altura de planta y altamente susceptibles a enfermedades virales y fungosas, sequía y acame) (Ugalde *et al.*, 2004; Tosquy *et al.*, 2014). Así mismo, también utilizan grano de generaciones avanzadas de variedades mejoradas, que favorecen el deterioro de la identidad genética de los materiales, por lo que éstos muestran una pobre respuesta en el rendimiento en condiciones adversas de enfermedades, sequía y suelos ácidos deficientes en nutrientes (López *et al.*, 2002; 2006; Tosquy *et al.*, 2020). El escaso uso de semilla mejorada de alta calidad obedece en gran parte, a que muchas veces este insumo no está disponible en las cantidades que se requieren y a tiempo para la siembra, o bien el productor no dispone de la información adecuada, ni los recursos económicos, para tener acceso o adquirir la semilla mejorada, lo cual limita la adopción de los genotipos mejorados.

Actualmente se conocen más de 150 variedades de frijoles, de las cuales sólo una tercera parte se encuentran en México; algunas de ellas son el frijol blanco, al que también se le conoce como alubia, negro, flor de mayo, morado, pinto, canario, y ayocote (Delgado-Salinas *et al.*, 2006). Los principales estados productores de frijol negro en el año 2019 fueron Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Veracruz y Sonora con 83477, 79498, 42938, 21506 y 7309 hectáreas respectivamente; mientras que, en el año 2020 el SIAP reportó en los mismos estados antes mencionado una superficie sembrada de 75420, 62084, 36646, 15384 y 7484 hectáreas sembradas con un rendimiento promedio entre ambos años de 1,309 kilogramos por hectárea. (SIAP, 2021). El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento de frijol negro Jamapa en una superficie de 3 hectáreas a cielo abierto en condiciones de temporal, y compararlo con una siembra en camas con la misma variedad, pero en ambiente protegido bajo condiciones de riego por goteo en una superficie de 300 metros cuadrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica: La evaluación se realizó en los terrenos del Campo Experimental Cotaxtla; el cual se ubica en el km 34.5 de la Carretera Federal Veracruz-Córdoba, apartado Postal N0.429, C. P 94270, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz (Figura 1). Geográficamente se localiza en las coordenadas 18°56'1.8 LN" y 96° 11'35.5" LW a 14 msnm. El Clima es tropical cálido subhúmedo (Aw₂) con una temperatura media anual de 25°C, precipitación promedio anual de 1292.6 mm y humedad relativa promedio de 87% (García, 1987).

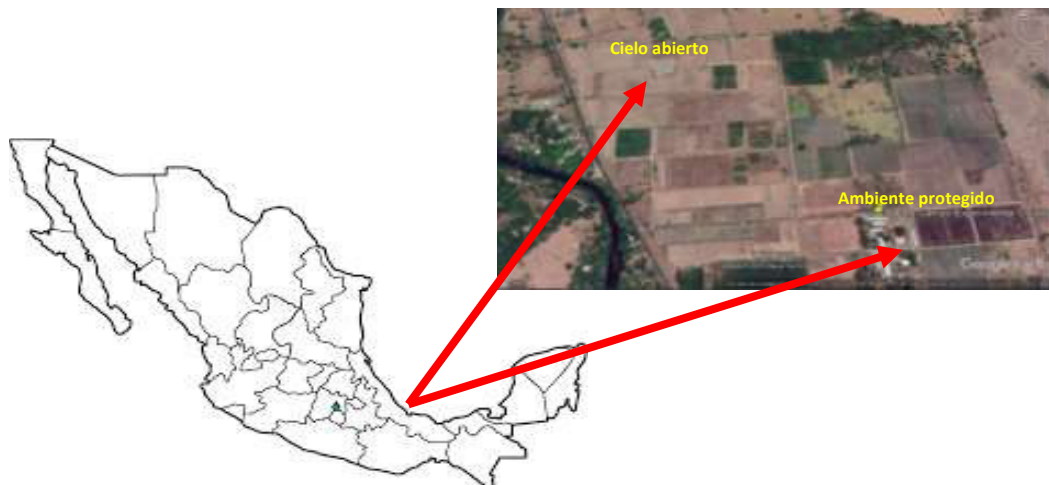


Figura 1. Ubicación de la siembra de frijol dentro de los terrenos del Campo Experimental Cotaxtla-CIRGOC-INIFAP



Detalle de las siembras: La primera se realizó en una superficie de 3.0 ha a cielo abierto y en condiciones de temporal; y la segunda fue en ambiente protegido (en seis camas de 1 m de ancho por 25 m de largo cada una) en una superficie de 300 metros cuadrados en condiciones de riego de auxilio por goteo, ambas dentro del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP.

Manejo agronómico de la siembra a cielo abierto: Tratamiento a la semilla: Se aplicó Thichoderma en dosis de 500 g por cada 100 kg de semilla, el cual fue aplicado de forma dirigida a la semilla, y mezclado con pala cuadrada para que en el grano quedara adherido de forma uniforme el producto. B) Siembra y fertilización al fondo de surco: Esta se realizó con sembradora mecánica depositando un promedio de 14 semillas por metro lineal a una distancia entre surcos de 80 cm, observando previamente que en promedio 100 semillas pesaban 24 gramos g; así mismo, al momento de la siembra se realizó una fertilización mineral en dosis es 40-40-40 unidades de N-P-K/ha. C) Preparación del terreno antes de la siembra: Consistió en un chapeo con tractor, quema ligera de residuos, doble paso de rastra en forma cruzada para triturar parte del residuo generado por la chapeadora, subsuelo a 45 cm de profundidad con el arado de cinceles del INIFAP, doble paso de rastra en forma cruzada, surcado a 80 cm entre surcos para facilitar las actividades de manejo del cultivo, y apertura de regaderas internas para el riego por gravedad. D) Control de malezas: Esta se realizó en ocho ocasiones de octubre a noviembre 2020 de la siguiente manera: 1) Tres de forma químico con el uso del producto comercial Fusiflex (fomesafen: 5-(2-cloro- α,α,α -trifluoro-p-toliloxi)- N-(metisulfonil)-2-nitrobenzamida 21.92 (equivalente a 250 g de i.a. /L a 20°C) en dosis de 0.75 a 1.0 litros por hectárea, así como Basagram (Bentazón: 3-isopropil-1H-2,1,3-benzotiadiazin 4(3H) ona, 2,2- dióxido) en dosis de 2 litros por hectárea para el control del coquillo (*Cyperus rotundus*); 2) Tres de forma manual con apoyo de trabajadores de campo; y 3) Dos de forma mecánica con el uso del arado de rejas como apoque. E) Control de plagas y prevención de enfermedades: Esta actividad se realizó de octubre a noviembre 2020 en cuatro ocasiones con los productos comerciales Cipermetrina (Cipermetrina 21.5% equivalente a 200g de I.A./L), y Metralla Max (Imidacloprid: (E)-1-(6-cloro-3-piridilmetil)-N-nitroimidazolidin-2-ilideneamina 18.80% (Equivalente a 214.1 g de I.A. / L a 20°C) principalmente. Asimismo, se realizaron dos aplicaciones durante ese mismo periodo de fungicidas comerciales Bonomilo (Metil 1-(butilcarbamoil) bencimidazol-2-il carbamato), y Manzate (Mancozeb) de forma preventiva para el control de enfermedades fungosas. F) Aplicación de fertilizantes foliares: Debido a la escasez de agua de lluvias, altas temperaturas y a la presencia de vientos del norte (80 a 126 km/hora), fue necesaria en más de nueve veces la aplicación de fertilizante foliares como el Agromil plus, nutrihumos, urea en dosis de 1 kg por cada 100 litros de agua, y otros con la ayuda de un asperjet para mitigar en gran medida lo antes mencionado. G) Cosecha, trilla y beneficio: La primera fue de forma manual, la segunda actividad se realizó con una trilladora mecánica modelo 46-86 propulsada por la toma de fuerza del tractor de 80 HP, y la tercera actividad se realizó de forma manual y aplicándole a la semilla Rodamina B-12, K-Obiol Ce 2.5 1 Lt (Azul), Phostoxin Perdigon 1668 Pastillas 6 g C/U (Rojo), Interthiram 480. H) Toma de datos. Al momento de la cosecha, se tomaron al azar 150 plantas a las cuales se les tomaron las variables de plantas por metro lineal de surco, altura de planta (cm), vainas por planta, granos por vaina, rendimiento por planta (g), peso de 100 granos (g), y peso fresco y seco de planta (g).

Manejo agronómico de la siembra en ambiente protegido: A) Acondicionamiento de camas. Las seis camas con dimensiones de 1 m de ancho x 25 de largo fueron previamente limpiadas con azadón, aplicación del fungicida benomilo ((Metil 1-(butilcarbamoil) bencimidazol-2-il carbamato)) como fungicida preventivo, y a la vez se les aplicó agua mediante riego por goteo para garantizar la germinación. B) Tratamiento a la semilla. Se aplicó Thichoderma, y esta fue sembrada de forma manual a una distancia entre surcos de 75 cm y entre plantas de 50 cm depositando dos granos por punto de siembra. C) Riego. Se realizó por goteo cada 5 días a partir de la siembra y hasta 15 días antes de la cosecha. D) Control de malezas. Se realizó en tres ocasiones con el apoyo de azadón. E) Control de plagas. Se aplicó de forma preventiva en tres ocasiones con el producto comercial arribo (Cipermetrina) en dosis de 1 mL de producto por litro de agua asperjado al follaje. F) Fertilización foliar. Se aplicó a los 30 días después de la siembra (dds) el producto comercial Agromil Plus (extractos vegetales) como potencializador en el amarre de flor en dosis de 1 mL por litro de agua. G) Cosecha y trilla: Esta se realizó de forma manual a los 110 dds. H) Toma de datos. Al momento de la cosecha, se tomaron al azar 30 plantas a las cuales



se les tomaron las variables de altura de planta (cm), vainas por planta, granos por vaina, rendimiento por planta (g), peso de 100 granos (g), y peso fresco y seco de planta (g); las cuales fueron analizadas mediante estadística simple.

Análisis Estadístico. El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 2016); el cual se consideró exclusivamente el análisis mediante la estadística simple.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento del clima: Del 1 de octubre del 2020 (día que se realizó la siembra de frijol a cielo abierto y en ambiente protegido) y hasta la cosecha el 20 de enero del 2021, se presentaron temperaturas promedio máximas de 32 °C y mínimas de 22 °C, así como una precipitación de 21 mm presentadas en dos eventos durante ese ciclo del cultivo (Figura 2).

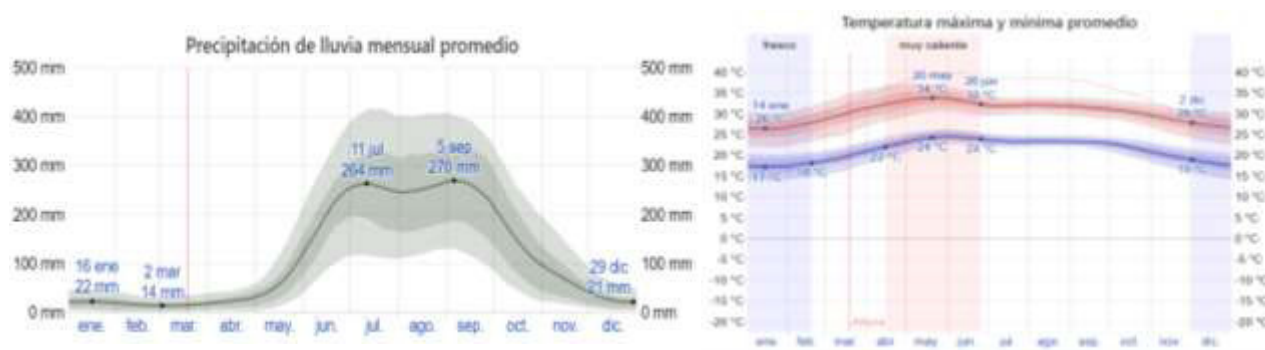


Figura 2. Comportamiento de la precipitación y temperatura en el 2020

Descripción de variables cuantitativas de la siembra a cielo abierto. En el Cuadro 1, se muestra el comportamiento de las variables tomadas y analizadas al momento de la cosecha del frijol a cielo abierto, en el cual a pesar de que la semilla presentaba una germinación del 90% al momento de la siembra y se depositaron 14 semillas por metro lineal, Sólo se lograron cosechar en promedio 4 plantas por metro lineal de surco, lo cual indicó que el 71% de plantas murieron durante el ciclo del cultivo, ya sea por la falta de agua en el temporal, problemas de vientos fuertes del norte, competencia por malezas, y principalmente se atribuye por el contenido de sales que presentó el agua de un riego de auxilio que se le aplicó a los 10 días después de la siembra ($CE = 3.6 \text{ dS/m}$). Otras variables determinantes en el rendimiento del grano fueron la altura de planta, vainas por planta, granos por vaina y peso del grano por planta, las cuales mostraron un promedio de 80 cm de altura, siete vainas por planta, 5 granos por vaina y 14.5 gramos por planta y por cada gramo de frijol producido a cielo abierto se requieren 2.48 gramos de materia seca respectivamente. El comportamiento de estas variables, se le atribuye a la escases de agua de lluvia, ya que durante el ciclo de cultivo se presentaron 42 mm de precipitación, altas temperaturas (rango de 30 a 35 °C) y la presencia de vientos fuertes del norte que durante el ciclo del cultivo fluctuaron entre 80 a 126 km/hora.

Cuadro 1. Comportamiento de variables cuantitativas evaluadas a la cosecha del frijol (120 dds) en condiciones de cielo abierto

Variables	Media	Varianza	SD	Error	CV
Plantas por metro lineal	4.00	4.41	2.10	0.18	0.54
Altura de planta (cm)	80.00	184.16	13.57	5.54	0.16
Vainas por planta	7.00	15.77	3.97	0.34	0.58
Granos por vaina	5.00	0.55	0.74	0.19	0.16
Rendimiento por planta (g)	14.52	16.65	4.08	1.09	0.28
Peso de 100 granos (g)	12.92	2.34	1.53	0.40	0.11



Peso fresco de planta (g)	109.00	876.54	29.60	12.08	0.26
Peso seco de planta (g)	36.10	86.83	9.31	3.80	0.25

Descripción de variables cuantitativas de la siembra a en ambiente protegido. Antes de describir las variables analizadas en la siembra en ambiente protegido, se encontró que la cosecha del grano se redujo 10 días con respecto a la establecida a cielo abierto; lo cual se le atribuye que, en estas condiciones controladas, las plantas aprovechan mayor la energía solar, humedad y temperatura. Así mismo, se encontró que respecto a la altura de planta esta creció 3.26 veces más que la realizada a cielo abierto, y a la vez también se encontró que el número de vainas por planta fue superior en 11.5 veces más a lo encontrado a cielo abierto (7 vainas por planta a cielo abierto y 81 vainas por planta en ambiente protegido); este comportamiento se produjo por el tutoreo de las plantas en ambiente protegido, las cuales se comportaron con un crecimiento indeterminado con respecto a las establecidas a cielo abierto (Cuadro 2) y también se encontró que por cada gramo de frijol se requieren 0.61 gramos de materia seca. El peso de 100 granos de frijol se encontró en 27.62 gramos, el cual se relaciona con lo encontrado por (CIAT, 1987; Guzmán *et al.*, 2009) que en semilla de frijol negro Jamapa tuvieron un comportamiento de 25 gramos por cada 100 semillas ajustadas al 14 % de humedad.

Cuadro 2. Comportamiento de variables cuantitativas evaluadas a la cosecha del frijol (110 dds) en condiciones de ambiente protegido

Variables	Media	Varianza	SD	Error	CV
Altura de planta (cm)	261.58	1290.45	35.92	6.45	0.137
Vainas por planta	81.00	252.29	15.88	2.85	0.124
Granos por vaina	6.00	0.598	0.77	0.14	0.124
Rendimiento por planta (g)	129.83	779.86	27.92	5.09	0.215
Peso de 100 granos (g)	27.62	5.37	2.31	0.42	0.083
Peso fresco de planta (g)	323.98	25553.79	159.85	29.18	0.493
Peso seco de planta (g)	79.64	595.18	24.39	4.45	0.30

Comportamiento del rendimiento. En este indicador se encontró que en la siembra a cielo abierto se produjeron 350 kg por hectárea ajustado al 14% de humedad y libre de granos fuera de tipo, basura y granos quebrados; lo cual, está por debajo de la media nacional que es de 1,483 kg/ha (SIAP, 2019). Caso contrario sucedió en el rendimiento obtenido en ambiente protegido en el cual se tuvo un rendimiento en 300 metros cuadrados de 70 kg ajustado a la humedad antes mencionada; lo cual, estimando este último rendimiento por hectárea de acuerdo a las dimensiones del bioespacio (300 m²) se estimó un rendimiento de 2.33 t/ha; sin embargo, considerando solamente el área de cultivo (150 m²) se estimó un rendimiento 4.66 t/ha.

CONCLUSIONES

1. La siembra en ambiente protegido no presentó problemas de plagas, enfermedades, ni daños por la variación de las temperaturas y vientos del norte, con respecto a la siembra a cielo abierto que presentó lo contrario a lo antes mencionado y otros problemas relacionados con la nutrición y cosecha.
2. El rendimiento real obtenido a cielo abierto fue inferior en 6.6 veces al rendimiento obtenido en ambiente protegido ajustado al 14 % de humedad considerando la superficie real del bioespacio; así mismo, considerando solo la superficie sembrada, se estimó un incremento del rendimiento de 13.3 veces al obtenido a cielo abierto.
3. El tutoreo de plantas, es una de las principales variables que determinan en rendimiento del cultivo; ya que estas, se comportan como crecimiento indeterminado logrando la emisión de un mayor número de vainas con respecto a la siembra a cielo abierto.
4. Por cada gramo de frijol producido a cielo abierto se requieren 2.48 gramos de materia seca; mientras que en ambiente protegido por cada gramo de frijol se requieren solamente 0.61 gramos de materia seca.



5. La siembra de frijol negro Jamapa en ambiente protegido es una excelente alternativa para producir frijol para pequeños productores del trópico mexicano.

LITERATURA CITADA

- CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1987. Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol. A. van Schoonhoven y M. A. Pastor-Corrales (comps.). Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 56 p.
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen (para adecuarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 130 p.
- Guzmán T. I., E. Almanza A., J. A. Acosta G. y S. H. Guzmán M. 2009. Estudio comparativo de características de calidad entre genotipos de frijol de grano negro. *Agricultura Técnica en México* 35:449-457.
- Delgado-Salinas, A., R. Bibler., y M. Lavin. 2006. Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. *Syst. Bot.* 31:779-791.
- Jacinto, H.; Acosta, J. A. y Ortega, A. 1993. Caracterización del grano de variedades mejoradas de frijol en México. *Agric Tec Mex.* 1993, vol. 19, no. 2, p.167-179
- Kaplan, L. 1965. Archeology and domestication in American *Phaseolus* (beans). *Econ. Bot.* 19:358-368.
- López, S. E., Acosta, G. J. A.; Cumpián, G. J.; Cano, R. O.; Villar, S. B. y Becerra, L. E. N. 2002. Adaptación de genotipos de frijol común en la región tropical húmeda de México. *Agric. Téc. Méx.* 28: 35-42.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Becerra, L. E. N.; Ugalde, A. F. J. y Cumpián, G. J. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(1):33-39.
- Olivares, S. E. 2016. Métodos Estadísticos UANL, Versión 1.7. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. México. emolivares@gmail.com
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Avance de Siembras y Cosechas: Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.dov [Consultado el 31 de julio de 2020].
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Avance de Siembras y Cosechas: Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do;jsessionid=780EA B4FBB1B778EA8C187F63DC57595 [Consultado el 12 marzo de 2021].
- Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Acosta, G. J. A. y Villar, S. B. 2014. Detección de líneas de frijol negro con adaptación en el trópico húmedo del sureste de México. Artículo científico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(6):911-921.
- Tosquy, V. O. H.; Zetina, L. R.; López, S. E.; Ibarra, P. F. J.; Villar, S. B. y Rodríguez, R. J. R. 2020. Comparación de genotipos de frijol negro opaco en suelos ácidos del sur de Veracruz. Artículo científico. *Terra Latinoam.* 38(1):91-102. doi: <http://doi.org/10.28940/terra.v38i1.411>
- Ugalde, A. F. J.; López, S. E.; Tosquy, V. O. H y Acosta, G. J. A. 2004. Producción artesanal de semilla de frijol-municipal (PASF-Municipal), método ágil de transferencia de tecnología de variedades para elevar la productividad del cultivo en Veracruz. Folleto Técnico Núm. 37. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 21 p.



RELACIÓN ESPACIAL ENTRE RENDIMIENTO DE MAÍZ Y RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL SUELO

SPATIAL RELATIONSHIP BETWEEN CORN YIELD AND SOIL PENETRATION RESISTANCE

¹Méndez Dorado MA, ¹López López JA, ¹López López GF, ¹González Ramírez HE, ²Reynolds Chávez MA y ²Capetillo Burela A

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro Núm. 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

²Campo Experimental Cotaxtla-CIRGOC-INIFAP. km 34 Carretera Veracruz Córdoba C.P. 94270. Medellín de Bravo, Veracruz, México

Autor para correspondencia: mario.mendez@uaaan.edu.mx

RESUMEN

Las capas compactas de suelo tienen una afectación negativa en el desarrollo radicular de las plantas. Una manera fiable para determinar si existen capas compactas en el suelo es mediante la medición de la resistencia a la penetración mediante penetrómetros en puntos de muestreo que permitan la rápida adquisición de datos y la representatividad para inferir con interpolaciones los valores de forma continua en puntos donde no se muestrea. De este modo, se podría comparar la respuesta de rendimiento de cultivo contra la resistencia a la penetración y poder predecir o mitigar de forma precisa las capas compactas que tengan potencial de afectación en rendimiento. En este estudio, se presentan resultados preliminares de muestreos de resistencia a la penetración del suelo y la representación gráfica mediante un mapa de diagnóstico y clasificación de los valores de resistencia a la penetración. Asimismo, se presentan datos de rendimiento de maíz para forraje, muestreados en 12 parcelas experimentales. Al final, se realiza una tabla comparativa de categorías de rendimiento del cultivo con su correspondiente categoría de resistencia a la penetración. De las 12 parcelas, se observó que, en 9 de ellas, hubo un registro de rendimientos medios (44.4 – 68.2 t/ha), correspondiente a categorías medias de resistencia a la penetración (1.3 – 3.4 MPa), mientras que una categoría de rendimiento bajo (36.5 – 44.4 t/ha) y dos de rendimiento alto (68.2 – 76.1 t/ha), obtuvieron categoría media (1.3 – 2.4 MPa) de resistencia a la penetración.

Palabras clave: *capas compactas, penetrómetro, índice de cono, interpolación IDW*

INTRODUCCION

La resistencia a la penetración (RP) del suelo está ligada a la exploración de raíces de las plantas. Algunos estudios muestran que la mayoría de las raíces penetran si la resistencia del suelo no excede los 2 MPa (Unger and Kaspar, 1994; Sinnott et al, 2008), por lo que un suelo no compactado, con una capa arable de niveles de RP bajos es deseable y recomendable para la producción agrícola. Sin embargo, el uso recurrente de maquinaria agrícola va creando capas compactas de suelo a lo largo del tiempo (Hidalgo et al, 2020), requiriéndose el uso de arados o subsoladores para descompactar, lo que involucra gastos de energía e insumos al usar maquinaria agrícola.

Un aspecto importante para la optimización de energía aplicada al suelo para romper las capas compactas es mediante el diagnóstico de suelo usando penetrómetros de índice de cono electrónicos que proveen de una lectura relativamente rápida y que registran automáticamente la RP a diferentes profundidades para un mismo punto de muestreo (Storck et al, 2016). Además, si cada muestreo se geolocaliza mediante un dispositivo GPS, entonces la elaboración de mapas de compactación podría diagnosticarse al usar técnicas de interpolación geoespacial. Con esto se lograría evitar el desperdicio de energía, al subsolar sólo las capas compactas previamente diagnosticadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El establecimiento del cultivo se llevó a cabo en un predio de (70 m x 110 m), dentro del Rancho El Buitre, campo experimental perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en el municipio de San Pedro, Coahuila, cuyas coordenadas al centro del terreno son de 688,779 m



este y 2'858,350 m norte. El experimento se llevó a cabo sobre 12 parcelas experimentales contiguas rectangulares de 6.0 m x 52.5 m, con pasillos de 1.0 m de anchura entre ellas. El cultivo fue establecido el 23 de julio de 2020, con maíz híbrido AN-447, utilizando una sembradora unitaria calibrada para una densidad de siembra de 105,000 plantas por ha, con una lámina de riego de 20 cm después del establecimiento y 3 riegos de 15 cm de lámina de riego cada 20 días.

La toma de muestras de resistencia a la penetración (RP) se llevó a cabo un día después de la cosecha del maíz, y se utilizó un penetrómetro de índice de cono, marca FieldScout™ SC 900 (Spectrum® Technologies, Inc., Aurora, IL, USA). En cada parcela se tomaron tres muestras de RP sobre su eje longitudinal central, con una separación aproximada de 13.1 m a partir de la orilla. En cada muestreo, se registró la RP en unidades de kPa, a una profundidad de 20 cm, ya que a este valor se considera que las raíces tienen que penetrar más profundo para tener un desarrollo adecuado. La toma de muestras de rendimiento se realizó al centro de cada parcela experimental. Se utilizó un marco cuadrado de madera de 1.0 m x 1.0 m y se pesó el verde para forraje, dividido por la superficie, y se expresó en kg/ha.

Los datos de RP y de rendimiento fueron registrados con la ayuda de QGIS 3.18.3 Zurich (QGIS Development Team, QGIS Association, 2021). El proceso de información geográfica se llevó a cabo importando una capa de Google Maps (Google Inc., Mountain View, CA, USA) con vista área satelital, donde se ubicaron las parcelas, pero de un ciclo posterior (15 de mayo de 2021). Sobre la vista de Google Maps se trazaron líneas de división para cada parcela, y se procesaron para crear polígonos rectangulares, que representaron cada parcela experimental, añadiéndose una tabla de atributos con etiquetas de tratamientos. Sobre cada rectángulo se digitalizaron los puntos de muestreo de RP y se añadieron los valores en kPa en su tabla de atributos, mientras que a cada punto en medio de cada parcela también se le añadió el valor de rendimiento de maíz en kg/ha. Los puntos de muestras de RP se utilizaron para hacer una interpolación de IDW (*inverse distance weighted*), dejando el valor de coeficiente de distancia predeterminado, con valor de 2.

Para la comparación entre RP y rendimiento, se consideró el estudio de Clark et al (2004), que muestra que existe una alta relación lineal negativa ($r^2 = 0.36$) entre la resistencia a la penetración y la cero labranza, por lo que en este estudio la evaluación de correspondencia se hizo mediante una comparación simple entre las categorías de RP y de rendimiento, bajo la hipótesis de que a mayor exploración de raíces, menor RP (Unger y Kaspar, 1994), y mayor rendimiento del cultivo. Para ello, los intervalos de RP y de rendimiento se tomaron considerando los valores mínimos y máximos muestreados, y se dividieron en cinco categorías de subintervalos iguales que son, para RP (kPa): suave (0 – 1285), suave – media (1,285 – 2,358), medio (2,358 – 3,432), media – dura (3,432 – 4,505), y dura (> 4505); y para rendimiento (kg/ha): bajo (36,500 - 44,420), bajo – medio (44420 – 52340), medio (52340 – 60260), medio – alto (60260 – 68180), y alto (68180 – 76100). Por último, sobre cada parcela se contabilizaron los porcentajes de área que cada parcela contenía y expresar la predominancia de RP según la interpolación efectuada, para después contrastar la categoría de rendimiento contra la predominante (de mayor superficie por parcela) de RP. Así que para una categoría de RP baja, debería corresponder una categoría de rendimiento alto, y viceversa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mapa de la Figura 1 muestra el resumen de los datos de las parcelas. Las categorías de RP se muestran en escala de verde a rojo, siendo el verde el de menor RP, y en el extremo contrario, el rojo, con la mayor RP del suelo, denotando que una región roja es indeseable ya que las raíces tendrían mayor dificultad para explorar el suelo. Los valores numéricos de RP que se obtuvieron mediante los muestreos varían en un rango entre 211 y 5,579 kPa, que comprenden los rangos de 1700 a 2400 kPa para un cultivo de maíz antes de ensilaje, y entre 2,850 y 3400 kPa, después del ensilaje, mostrados en mapas de RP en el trabajo de Aksakal y Oztas (2010).

Para el área total, el mapa muestra la predominancia de una clasificación media de RP, seguida de suave - media, seguida de suave, y en menor superficie las categorías de media – dura, y dura, que se encuentran en la vecindad de los puntos muestreados.

El Cuadro 1 muestra una correspondencia entre los valores de rendimiento contra la clasificación de resistencia a la penetración, indicándose el porcentaje de superficie de cada parcela. Tomando como primer ejemplo el rendimiento más bajo de 36,500 kg/ha, se nota que la predominancia de RP fue media, cubriendo el 100% de la superficie según el mapa de interpolación (Figura 1), por lo que, según la

hipótesis de trabajo, el rendimiento esperado debió corresponder a una RP alta. Ahora, tomando un segundo ejemplo, donde el rendimiento fue el más alto, con 76,100 kg/ha, se aprecia que la parcela tiene una RP media que cubre el 72% de su superficie, seguida por una RP media – dura con 25%, y finalmente una RP dura de 3%. Entonces, para este caso, el rendimiento esperado hubiera sido de nivel medio. No obstante, 9 de las 11 clasificaciones de rendimiento bajo - medio, medio, y medio – alto, sí corresponden con las categorías predominantes de RP media y media – suave.

Sin embargo, como la RP no es la única variable que afecta al rendimiento, sino que los seis tratamientos descritos en las notas del Cuadro 1 tienen repercusión en el rendimiento, es necesario aislar sus variaciones y establecer un experimento donde se mantengan condiciones lo más homogéneas posibles, e incluso considerar la afectación del contenido de humedad que también afecta a la RP (Jiang et al, 2020).

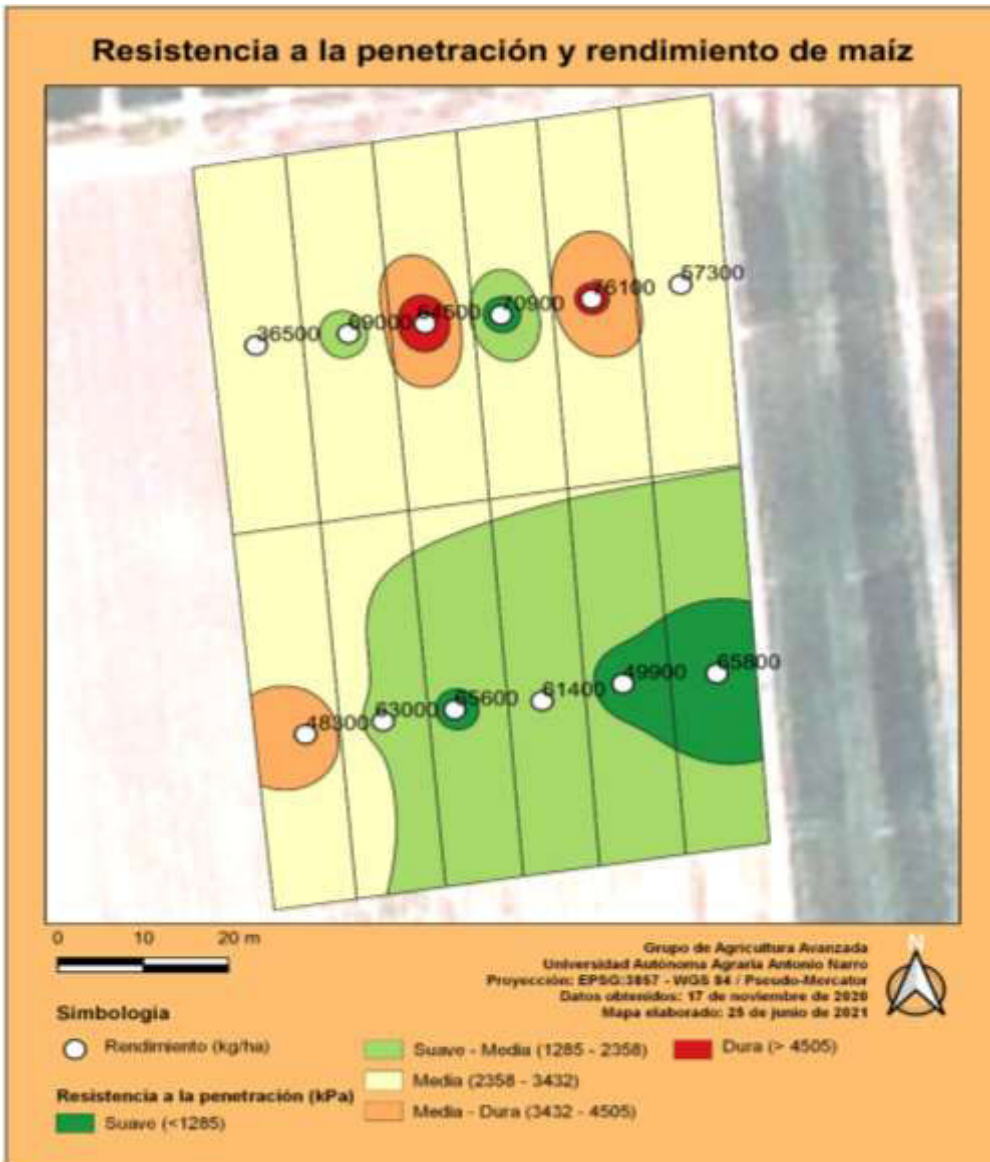


Figura 1. Mapa de interpolación de resistencia a la penetración y datos de rendimiento de maíz en verde mostrados al centro de cada parcela con unidades de kg/ha.



Cuadro 1: Resumen de los tratamientos por resistencia a la penetración y respuesta de rendimiento.

Tratamiento	Rendimiento		Predominancia de RP (% área)		
	Valor (kg/ha)	Categoría			
A	36,500	Bajo	Media (100)	--	--
B	69,000	Medio - Alto	Media (93)	Dura (5)	Media - Dura (2)
C	64,500	Medio - Alto	Media (74)	Media - Dura (19)	Dura (8)
D	70,900	Alto	Media (83)	Media - Suave (13)	Suave (3)
E	76,100	Alto	Media (72)	Media - Dura (25)	Dura (3)
F	57,300	Medio	Media (99)	Media - Dura (1)	--
C	48,300	Bajo - Medio	Media (77)	Media - Dura (23)	--
E	63,000	Medio - Alto	Media - Suave (49)	Media (51)	--
B	65,600	Medio - Alto	Media - Suave (87)	Media (8)	Suave (5)
F	61,400	Medio - Alto	Media - Suave (96)	Media (4)	--
A	49,900	Bajo - Medio	Media - Suave (78)	Suave (20)	Media (2)
D	65,800	Medio - Alto	Media - Suave (57)	Suave (41)	Media (1)

Notas:

- A = Camas permanentes anchas + orgánico;
- B = Labranza cero + químico + orgánico;
- C = Camas permanentes anchas + químico + orgánico;
- D = Camas anchas + labranza convencional + químico + orgánico;
- E = Camas permanentes anchas + químico;
- F = Labranza convencional plano + químico + orgánico.

CONCLUSIONES

Se consideraron 36 muestras de RP del suelo, 3 para cada parcela experimental, que fueron analizadas a través de el sistema de información geográfica QGIS, para después interpolarlas con el método de IDW (*inverse distance weighted*), obteniéndose un mapa de diagnóstico para una profundidad de suelo a 20 cm. Se muestreó el rendimiento de cada una de las 12 parcelas experimentales, tomando el centro de cada parcela. Las muestras de rendimiento se tomaron en una superficie de 1.0 m x 1.0 m y se pesó el forraje en verde para determinar su rendimiento en kg/ha. Mediante una clasificación de rendimiento bajo, bajo – medio, medio, medio – alto, y alto, se contrastó contra una clasificación de RP de suelo con las siguientes categorías: suave, suave – media, media, media – dura, y dura. La correspondencia resultó en 9 de las 12 clases de rendimiento medio y medio – alto, correspondieron a las clases de RP media y media suave, por lo que la correspondencia se puede considerar cercana al 75%. Sin embargo, un método estadístico más objetivo es necesario para medir los resultados en un futuro próximo.

LITERATURA CITADA

Aksakal, E.L. y Oztas, T. 2010. Changes in distribution patterns of soil penetration resistance within a silage-corn field following the use of heavy harvesting equipments. Tubitak, Turk J Agric For. Número 34. pp. 173-179.

Clark, J.T.; Russell, J.R.; Karlen, D.L.; Singleton, P.L.; Busby, W.D. y Peterson, B.C. 2004. Soil Surface Property and Soybean Yield Response to Corn Stover Grazing. Agronomy. Número 96. pp. 1364-1371.

Hidalgo, R.J.; Pozzolo, O.R., Domínguez, J.F.; Giménez, L.; y Botta, G. F. (2020). Soil compaction caused by the impact of machinery traffic during corn (*Zea mays*) harvest. Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias, 52(1), 161–174.



-
- Jiang, Q.; Cao, M.; Wang, Y.; y Wang, J. 2020. Estimating soil penetration resistance of paddy soils in the plastic state using physical properties. *Agronomy - Basel*, 10 (12).
- Sinnett, D.; Morgan, G; Williams, M. y Hutchings, T.R. 2008. Soil Penetration Resistance and Tree Root Development. *Soil Use and Management*. Número 3, Volumen 24. pp. 273-280.
- Storck, L., Kobata, S. G. K., Brum, B., Soares, A. B., Modolo, A. J., & Assmann, T. S. (2016). Sampling plan for using a motorized penetrometer in soil compaction evaluation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi*, 20(3), 250–255.
- Unger, P.W., y Kaspar, T.C. 1994. Soil compaction and root growth: A review. *Agron. J.* 86:759–766.



PROCEDIMIENTO AGROCLIMÁTICO PARA DETERMINAR EL INICIO DEL PERIODO DE SIEMBRA: CASO, MAÍZ (CICLO PRIMAVERA-VERANO) EN HUIMANGUILLO, TABASCO.

AGROCLIMATIC PROCEDURE TO ESTABLISH THE ONSET OF THE PLANTING SEASON: CASE, MAIZE (SPRING-SUMMER CYCLE) IN HUIMANGUILLO, TABASCO.

¹Aceves Navarro L.A., Arrieta Rivera A., Calao León NS., ¹Francisco Santiago SP., ¹Valencia Peñaloza E., ¹Yzquierdo Álvarez ME.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México.

²Instituto Tecnológico Nacional de México/IT de la Zona Olmeca, Prolongación Ignacio Zaragoza S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: [laceves@colpos.mx](mailto:lanceves@colpos.mx)

RESUMEN

La determinación del periodo de siembra en cultivos anuales bajo condiciones de temporal, es determinante para la obtención de los mejores y mayores rendimientos. Esta determinación para una localidad o región, históricamente ha requerido de una amplia experimentación con varias fechas de siembra y durante varios años; debido a la variabilidad en la ocurrencia de las lluvias en el tiempo y en su cantidad. Este procedimiento requiere además de tiempo, enormes recursos financieros y de personal técnico calificado. Existe en la literatura científica, diversas propuestas agroclimáticas para determinar el inicio del periodo de lluvias y/o siembra en las zonas tropicales del mundo. En el presente trabajo se utiliza un método propuesto por la FAO y la Organización Meteorológica Mundial (WMO) que fue probado exitosamente en el África tropical y que solo requiere de datos de precipitación diaria. Los resultados muestran que por éste método es posible determinar una fecha confiable para el inicio del periodo de siembra del maíz que garantice sea exitoso 8 de cada 10 años. Que el inicio del periodo de siembra confiable resultante, ajusta muy bien dentro del periodo de siembra recomendado por el INIFAP para el cultivo de maíz. Además, este método permite asociar una probabilidad a cualquier otra fecha de siembra escogida. Así, se pudo determinar que las siembras tempranas recomendadas en la segunda quincena del mes de mayo, tienen poca probabilidad de ser exitosas. Finalmente, la determinación del inicio del periodo de lluvias y/o siembra, por este método se obtiene en menos de una semana y solo requiere de datos de precipitación de la localidad en cuestión.

Palabras clave: *Siembra confiable, periodo de lluvias, probabilidad.*

INTRODUCCIÓN

En la agricultura de temporal, los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas tienen como uno de los principales factores limitantes la disponibilidad de humedad en el suelo, donde la fuente de abastecimiento de agua es la lluvia. Por ende, la precipitación es el elemento del clima más importante para la producción y productividad agrícola de una localidad o región; por lo que determinar el inicio del periodo de lluvias es básico para los cultivos anuales de temporal. En la agricultura de temporal el inicio del periodo de siembra coincide con el inicio del periodo de lluvias.

De acuerdo al INIFAP (Barrón, 2008), el periodo de siembra recomendado para el ciclo de primavera-verano en el estado de Tabasco, es del 15 de mayo al 30 de junio (semana 19 a la 25 del año). Para determinar lo anterior, se requirieron varios años de experimentación (10 a 15 años) y de abundantes recursos humanos y financieros. Encontrar un método empírico, rápido, razonable y confiable para determinar el inicio del periodo de lluvias y/o siembra, es un problema complejo por la irregularidad en la distribución de la precipitación que cambia año con año. El inicio del periodo de lluvias ha sido investigado en muchas regiones del mundo. Desde la India, Indochina, Australia, Japón, Centro y Sudamérica tropical y la región Asia-Pacífico; y han documentado diferentes procedimientos para su determinación en las zonas tropicales del mundo (Laux *et al.* 2008). En general hay dos grandes grupos de métodos; Los métodos basados en datos de superficie y los métodos basados en la dinámica de la atmósfera. El primer método se ha aplicado con propósitos agroclimáticos a escala local y el segundo



a escala regional. Los segundos métodos utilizan datos de viento, cartas sinópticas, irradiación de onda larga saliente y presencia de frentes fríos. Los métodos basados en datos de superficie son los más utilizados y recomendados y consisten en analizar la precipitación a diferentes intervalos de tiempo (pentadas y/o semanas) (Cocheme y Frankin, 1967; Smith *et al.* 2008). Porque los datos de precipitación tienen la ventaja de estar fácilmente disponibles y de que exhiben una relación más directa que otras variables climáticas.

Los procedimientos que utilizan datos de precipitación se pueden clasificar en: El método del umbral uniforme y El método del umbral de precipitación distribuido. El método uniforme propone que el inicio del periodo de lluvias es aquel cuando por primera vez en el año en una pentada o semana, la precipitación rebasa cierta cantidad de lluvia (15, 20 a 30 mm) y cuando en los próximos 20 a 30 días no ocurran 7 o más días secos consecutivamente (Laux *et al.* 2008; Cocheme y Frankin, 1967; Smith *et al.* 2008). En los métodos uniformes es importante asegurarse que llueva después del inicio ya que los primeros 20 a 28 días siguientes a la siembra, son los más críticos para la germinación de semillas y el establecimiento del cultivo (Laux *et al.* 2008). El método del umbral distribuido utiliza un cierto porcentaje de precipitación acumulada respecto al total anual para definir el inicio del periodo de lluvias. Así por ejemplo, se puede afirmar que el periodo de lluvias inicia cuando la precipitación acumulada desde principios de año es igual o mayor al 20%. En el presente trabajo se utiliza un método de umbral uniforme propuesto por la FAO y la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y reportado por Cocheme y Frankin (1967), para determinar el inicio del periodo de lluvias y/o de siembra, basado exclusivamente en el análisis de datos de precipitación semanal de una localidad.

Los resultados se comparan con lo recomendado por el INIFAP, en este caso para el cultivo de maíz en el área de influencia de la estación climatológica de Huimanguillo, Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos climatológicos. Se utilizaron datos históricos de 32 años (1950 a 1981) de precipitaciones diarias de la estación meteorológica de Huimanguillo, Tabasco. Los datos fueron obtenidos de la base de datos ERIC III v. 3.2 (IMTA, (2009).

El procesamiento de datos se realizó en una hoja de cálculo Excel, dividiendo el año en 52 semanas. Para cada semana, de cada uno de los 32 años, se obtuvo la cantidad de precipitación acumulada correspondiente. El inicio del periodo de lluvias para cada año se definió como aquella semana cuando a partir del primero de abril ocurrieran al menos 30 mm de precipitación y que en las siguientes tres semanas haya ocurrido por lo menos una precipitación en cada semana, sin importar la cantidad precipitada; de acuerdo a lo propuesto por la FAO y la Organización Meteorológica Mundial (WMO) (Cocheme y Frankin, 1967). Así se obtuvieron las fechas de inicio del periodo de lluvia. Las fechas se transformaron en términos de día Juliano y sus frecuencias relativas se ordenaron de la menor a la mayor para obtener la probabilidad empírica de cada una, utilizando la ecuación de posición de graficado probabilístico propuesta por Weibull (Fuladipannah y Jorabloo, 2011).

$$P_0 = M / (N+1) \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Dónde: P_0 = probabilidad empírica u observada; M = número de orden; y N = número total de observaciones.

A los datos del inicio del periodo de lluvias obtenidos se les realizó una prueba de normalidad, a fin de utilizar la Distribución Probabilística Normal para ajustarlos a esa distribución. Para ello, se utilizó el criterio de comparar el valor de la media aritmética con el valor de la media geométrica de las observaciones. Luego se compararon las probabilidades observadas y las estimadas mediante un análisis de regresión, para ver el grado de correlación entre ambas. Conocidas las probabilidades de cada fecha del inicio de lluvias se determinó el inicio del **Periodo de Siembra Confiable**, como aquella fecha con al menos 75 % de probabilidad de ocurrencia. Es decir, que al menos entre 7 a 8 de cada 10 años se estará seleccionando a la mejor fecha del inicio del periodo de siembra y/o lluvias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar el análisis de frecuencias de las fechas de inicio del periodo de lluvias de manera gráfica, se pudo observar que los datos tenían una clara distribución Normal. Para comprobarlo se aplicó el criterio de la comparación de medias (aritmética y geométrica), dado que en una distribución Normal teórica deben ser idénticas. El análisis de regresión lineal de entre las probabilidades estimadas o calculadas (P_c) con la Distribución Normal y las observadas (P_o); tuvieron un coeficiente de determinación (R^2) de 0.999; lo que indica que existe una alta correlación entre ambas probabilidades. Esto se puede apreciar en la Figura 1. Asimismo, en la Figura 2, se muestra la probabilidad asociada para los diferentes números de la semana del año para que inicie el periodo de lluvias/siembra, en el área de influencia de la estación climatológica de Huimanguillo, Tabasco. En esta Figura 2, se muestra además, que en Huimanguillo, el periodo más frecuente (50 % de probabilidad) ocurre a mitad de las semanas 22 y 23 (entre el 04 al 11 de junio); que cae dentro del periodo recomendado por el INIFAP (Barrón, 2008). También en la Figura 2 se observa que el **inicio del periodo de siembra confiable** (aquél con más del 75 % de probabilidad de ocurrir), inicia a partir del 18 de junio (semana 24).

Lo que hay que resaltar de la Figura 2 es que la semana número 19 (que inicia el 15 de mayo) y que se recomienda como el inicio de las siembras por Barrón, (2008) para todo el estado de Tabasco, en el caso particular de Huimanguillo, tiene una probabilidad muy baja de alrededor del 5%. Es decir, será la fecha adecuada una vez cada 13 años. En cambio en la semana que va del 25 de junio al 01 de Julio (semana 25), la probabilidad se eleva casi al 90% (nueve veces de cada 10 años).

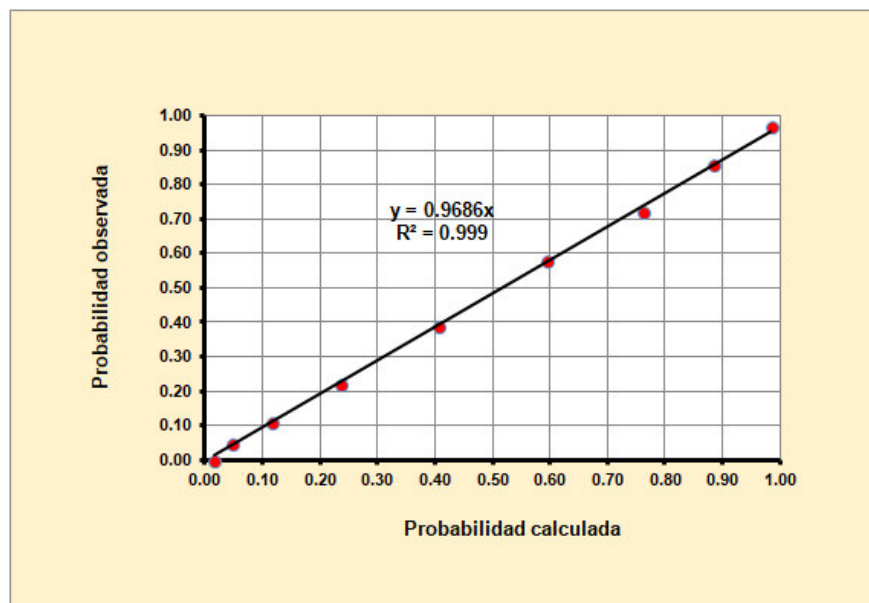


Figura 1. Relación entre la probabilidad calculada con la Función Probabilística Normal y la probabilidad observada de las fechas del inicio del periodo de lluvias/siembra en el área de influencia de la estación climatológica de Huimanguillo, Tabasco, México.

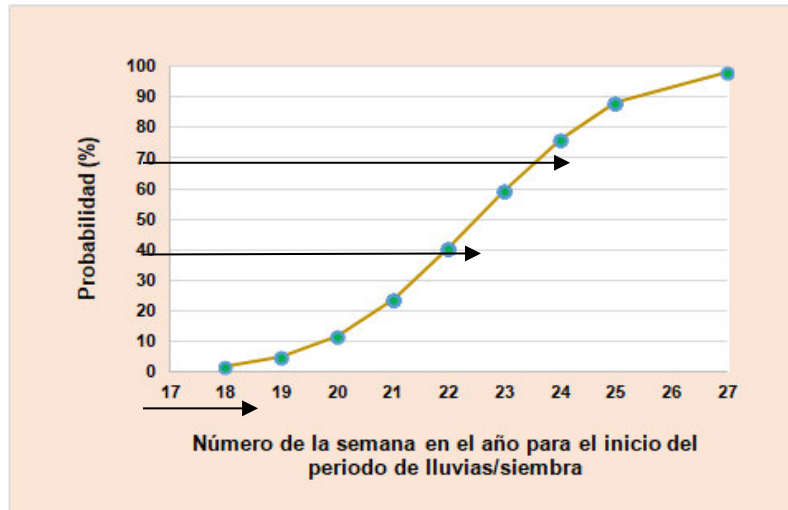


Figura 2. Relación entre el número de la semana del año para el inicio del periodo de lluvias/siembra y su probabilidad de ocurrencia, en el área de influencia de la estación climatológica de Huimanguillo, Tabasco.

Lo interesante de este procedimiento propuesto para determinar el periodo de siembra bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano, es que da resultados muy similares a los obtenidos tras varios años de experimentación. Y solo requiere de datos de precipitación que están fácilmente disponibles y el análisis se realiza en menos de una semana de trabajo.

CONCLUSIONES

El procedimiento propuesto por la FAO/WMO para determinar el inicio del periodo de lluvias y/o de siembra de temporal en el ciclo primavera-verano, en el área de influencia de la estación climatológica de Huimanguillo, se ajusta muy bien al periodo de siembra recomendado por el INIFAP para el cultivo de maíz. Este resultado se obtiene en menos de una semana y solo requiere de datos de precipitación de la localidad en cuestión. Además, este procedimiento permite asociar una probabilidad a cada fecha de siembra escogida y definir un **inicio de siembra confiable**. Los resultados sugieren que para Huimanguillo, la recomendación de siembras tempranas (segunda quincena de mayo), tienen mucha probabilidad de fallar, por lo que no son recomendables. En el caso del maíz en Huimanguillo, el inicio de la siembra en promedio (50% de probabilidad), ocurre hasta el 08 de junio. En cambio, el inicio del inicio de **siembra confiable** ocurre hasta el 18 de junio (semana 24) con una probabilidad del 76 %.

LITERATURA CITADA

- Barrón, F. S. 2008. Manual para la producción de maíz en Tabasco. Folleto para productores Num. 13. Campo Experimental Huimanguillo, Tabasco. INIFAP-SAGARPA. 26 pp.
- Cocheme, J. and Frankin, P. 1967. A study of the agroclimatology of the semiarid area south of the Sahara in West Africa. FAO/UNESCO/WMO Interchange Project of Agroclimatology. Technical Report 86, Rome Italy.
- Fuladipanah, M. and Jorabloo, M. 2011. Determination of plotting position formula for the Normal, Lognormal, Pearson (III), Log Pearson (III) and Gumbel distributional hypotheses using the probability plot correlation coefficient test. World Appl. Sci. J. 15(8): 1181-1185.
- IMTA, (Instituto Mexicano del Agua). 2009. ERIC III: Extractor Rápido de Información Climatológica v.2. CD, p. 28, 2009.
- Laux, P., Kunstmann, H. and Bardossy, A. 2008. Predicting the regional onset of the rainy season in West Africa. Int. J. Climatol. 28: 329-342.
- Smith, I. N., Wilson, L. and Suppiah, R. 2008. Characteristics of the northern Australian rainy season. J. of Climate. Vol. 21, 4298-4311.



EVALUACION DE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN PIÑA CABEZONA EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NPK

EVALUATION OF GROWTH PARAMETERS IN CABEZONA PINEAPPLE IN RESPONSE TO NPK FERTILIZATION

¹Pérez Romero J, ¹Salgado Garcia S, ²Córdova Sánchez S, ¹Carmen Lagunes Espinoza L.C., ¹Ortiz García, C.F.

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Producción Agroalimentaria Tropical. Km. 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N. H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México. ²Universidad Popular de la Chontalpa. Cuerpo Académico de Química Verde y Desarrollo Sostenible (CA-QVyDS). Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500: salgados@colpos.mx

RESUMEN: La piña ha tenido gran aceptación alrededor del mundo y es la tercera fruta más importante después de la banana y los cítricos (Bartholmew *et al.*, 2015). EL objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con NPK sobre la acumulación de biomasa, NDVI, IAF y rendimiento en piña (*Ananas comosus (L.) Merr.*) "Cabezona". El diseño experimental fue en Bloques completos al azar con cuatro repeticiones, 14 tratamientos y un testigo. Los tratamientos se generaron con la matriz Plan Puebla I, usando niveles de N de 120, 160, 200 y 240 kg ha⁻¹, de P: 70, 110, 150 y 190 kg ha⁻¹, y de K: 150, 200, 250 y 300 kg ha⁻¹. Los tratamientos fueron fraccionados en cuatro aplicaciones, a los dos, cinco, ocho y trece meses, el P se aplicó en una sola exhibición al inicio del cultivo. al finalizar el ciclo de cultivo todos los tratamientos acumularon mayor biomasa que el testigo, pero no se registró diferencia estadística entre tratamientos de fertilización. El NDVI no mostró relación con la biomasa, IAF, o rendimiento durante el ciclo del cultivo. El índice de área foliar (IAF) no mostró diferencia estadística entre tratamientos y testigo. En rendimiento, los tratamientos cinco y ocho (>55 t ha⁻¹) mostraron diferencia altamente significativa. Se concluyó que la piña cabezona acumula en promedio 0.80±0.13 g día⁻¹ de biomasa seca, bajo las condiciones ambientales de sabana. No mostró relación entre NDVI y acumulación de biomasa. El IAF aumentó drásticamente después del tratamiento de inducción floral. Se sugiere la dosis de fertilización N 200-P 110-K 250.

Palabras clave: *Piña Cabezona, fertilización NPK, parámetros de crecimiento.*

INTRODUCCION: La piña cabezona es producida y consumida a nivel estatal (Salgado *et al.*, 2010), presenta rendimientos bajos y la fertilización que se realiza es de acuerdo a las recomendadas para otras variedades, ya que hay carencia de estudios sobre su comportamiento agronómico, pues la mayoría de las investigaciones tanto a nivel nacional como internacional están dirigidas hacia Cayena lisa o MD2. En la sabana de Huimanguillo donde están principalmente los cultivos de piña en el estado de Tabasco, los suelos son ácidos, de baja fertilidad, con alta fijación de fósforo, deficiencias de boro, calcio, magnesio, potasio y Zinc, además de presentar un porcentaje alto de saturación de aluminio (Zavala *et al.*, 2014; Salgado *et al.*, 2017a). Ocho dosis de fertilización para piña criolla, Cayena y MD2 se han generado para las regiones que comprenden Estación Chontalpa, Francisco Rueda y Nueva Esperanza en la sabana de Huimanguillo, donde los factores limitantes de esos suelos fueron la acidez, el exceso de humedad y deficiencia de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn y Mn (Salgado *et al.*, 2017b). Para continuar el estudio sobre comportamiento agronómico de la piña Cabezona en las condiciones de la sabana de Huimanguillo se plantea el presente trabajo con el objetivo de "Evaluar el efecto de la fertilización con NPK sobre la acumulación de biomasa, NDVI, IAF y rendimiento en piña Cabezona".

MATERIALES Y METODOS

El experimento fue ubicado en el Ejido Pedregal Moctezuma Primera Sección del municipio de Huimanguillo, Tabasco a 17°40' LN y 93°38' LO, bajo condiciones de temporal en un suelo Acrisol Úmbrico Cutánico (Hiperdístico, Húmico), La precipitación durante la fase experimental (jul-2018 a nov-2019) osciló entre 19.2 y 394 mm y la temperatura promedio entre 23.5 y 31.3 °C mensuales.



Tratamientos y diseño experimental: Se utilizó un diseño de bloques completo al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental fue constituida por cinco hileras de 10 m de largo, a una distancia de 0.375 m entre plantas y 1 m entre hileras. Entre parcelas experimentales 1.5 m y entre repetición 2 m. Tamaño de parcela y número de repeticiones óptimos para evaluar niveles de NPK (Leonardo *et al.*, 2014).

Los tratamientos de fertilización fueron generados por la Matriz Plan Puebla I para tres factores controlables (Turrent, 1985) usando niveles de N (Urea): 120, 160, 200 y 240 kg ha⁻¹, P (DAP): 70, 110, 150 y 190 kg ha⁻¹ de P₂O₅, y K (KCl): 150, 200, 250 y 300 kg ha⁻¹ de K₂O. Se adicionó un testigo sin fertilizante. Los tratamientos generados fueron: T1₍₁₆₀₋₁₁₀₋₂₀₀₎, T2₍₁₆₀₋₁₁₀₋₂₅₀₎, T3₍₁₆₀₋₁₅₀₋₂₀₀₎, T4₍₁₆₀₋₁₅₀₋₂₅₀₎, T5₍₂₀₀₋₁₁₀₋₂₅₀₎, T6₍₂₀₀₋₁₁₀₋₂₅₀₎, T7₍₂₀₀₋₁₅₀₋₂₅₀₎, T8₍₂₀₀₋₁₅₀₋₂₅₀₎, T9₍₁₂₀₋₁₁₀₋₂₀₀₎, T10₍₂₄₀₋₁₅₀₋₂₅₀₎, T11₍₁₆₀₋₇₀₋₂₀₀₎, T12₍₂₀₀₋₁₉₀₋₂₅₀₎, T13₍₁₆₀₋₁₁₀₋₁₅₀₎, y T14₍₂₀₀₋₁₅₀₋₃₀₀₎.

VARIABLES DE ESTUDIO: La medición de las variables inició a los 143 días de establecido el cultivo y posteriormente se tomaron a los 211, 274, 361, 422 y 484 días. En los tratamientos de fertilización 5, 8, 10, 12, 14 y 15 se midió acumulación de biomasa, NDVI e índice de área foliar (IAF). El rendimiento se determinó al final del ciclo en todos los tratamientos de fertilización.

Análisis estadístico. Para todas las variables se realizó un ANOVA del DBCA, comprobación de supuestos y pruebas de media Tukey a una significancia de 0.05 con ayuda del paquete estadístico Rstudio versión 3.5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: Acumulación de biomasa

A los 143, 211 y 361 días del crecimiento del cultivo de piña Cabezona no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de fertilización. A los 274 días la diferencia entre los efectos de los tratamientos de fertilización fue altamente significativa, siendo los tratamientos 8 y 14 los que acumularon mayor cantidad de biomasa seca (180 y 206.3 g día⁻¹ respectivamente) con respecto a los tratamientos 5, 10, 12 y el testigo. Los tratamientos 8 y 14 contenían las dosis más altas de potasio (300 y 250 kg ha⁻¹ de K₂O). A los 422 días de crecimiento se observó diferencia estadística significativa entre tratamientos, siendo nuevamente los tratamientos con las dosis más altas de potasio los que acumularon mayor cantidad de biomasa, corroborando la respuesta del cultivo de piña a este elemento deficiente en el suelo (Salgado *et al.*, 2017b). El Tratamiento testigo (T15) produjo menor cantidad de biomasa seca, lo que resalta la necesidad de fertilizar este cultivo. La piña Cabezona acumulo 389.3 g de materia seca al finalizar el ciclo del cultivo y se observó una buena correlación entre la materia seca y el rendimiento de fruto fresco obtenido lo cual es similar a lo reportado por Del Ángel *et al.* (2011).

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

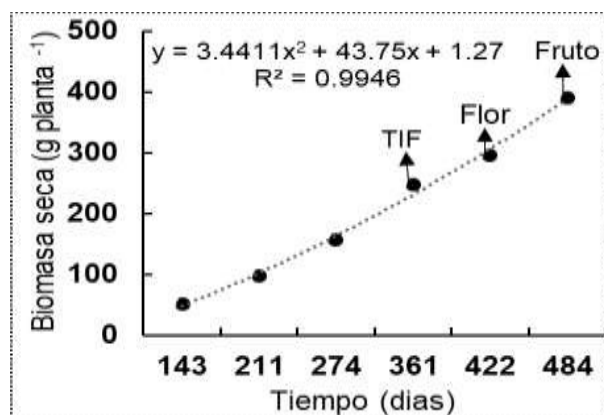


Figura 1. Acumulación de biomasa seca en piña Cabezona.

No se encontraron diferencias significativas del NDVI con respecto a los tratamientos de fertilización y entre fechas de muestreo. Las medias de NDVI oscilaron entre 0.71 y 0.80 a través del crecimiento del cultivo de piña cabezona. El mayor valor de NDVI (0.82) se observó a los 211 días después de la siembra

con el T10, es decir antes de la etapa de mayor acumulación de biomasa aérea, sin importar la dosis de fertilizante aplicada. El suelo suministro parcialmente el N, P y K que el cultivo requirió en el T15, quien no recibió fertilizante. Los valores que se obtuvieron en piña Cabezona fueron similares a los que encontró Balasundram-Kumar *et al.* (2013) en piña MD2 los cuales oscilaron entre 0.65 a 0.85. Así mismo, estos autores tampoco reportaron correlación con la biomasa, tal como ocurrió en este trabajo (Figura 2).

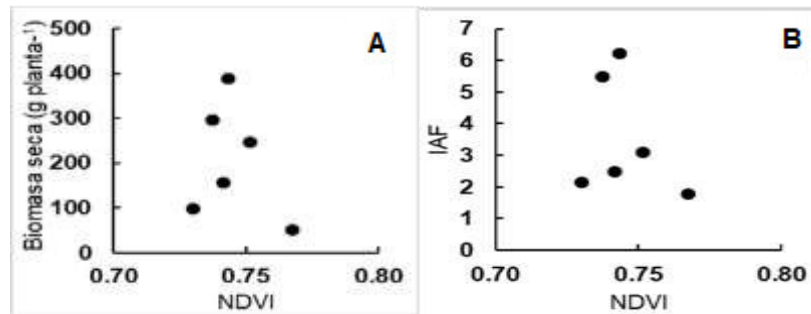


Figura 2. Correlaciones. A) biomasa seca y NDVI, B) IAF Y NDVI.

Índice de área foliar (IAF)

No se encontró diferencia estadística significativa del IAF entre tratamientos de fertilización a los 143, 211, 274 y 484 días de crecimiento del cultivo de piña Cabezona. A los 361 días hubo diferencia estadística entre tratamientos, sobresaliendo los T12, T14 y T15. A los 422 días se observó una reducción significativa del IAF en T14 y T15, etapa en que inicia el llenado del fruto, atribuido a una mayor movilidad de reservas de la hoja (Salgado *et al.*, 2010). Los tratamientos de fertilización siguieron la misma tendencia al incrementar drásticamente el IAF de los 361 a 484 días de crecimiento vegetal, los cuales corresponden al periodo de desarrollo del fruto (Figura 3). El máximo IAF observado de 6.22 a los 484 días puede deberse a la disminución del ángulo de inclinación de las hojas, provocado por la inflorescencia. Este incremento de IAF, también fue reportado por Rebolledo *et al.* (2005). No se encontró correlación entre IAF y NDVI ya que el NDVI tiende a disminuir a la etapa de desarrollo del fruto y el IAF a incrementarse.

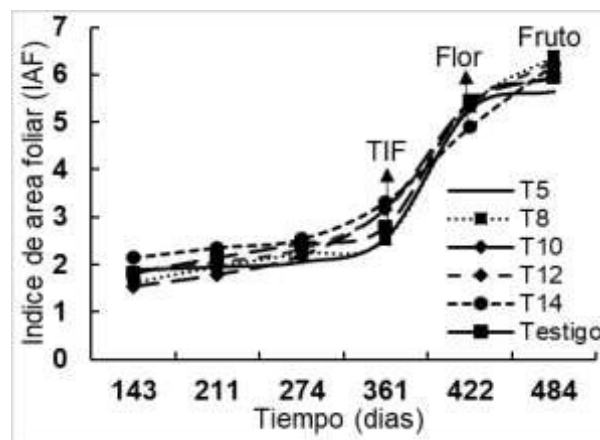


Figura 3. IAF en piña Cabezona.

Rendimiento

Se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos de fertilización. Si el cultivo de piña Cabezona no se fertiliza el rendimiento se reduce en 8 t ha⁻¹. La prueba de Tukey establece dos grupos con diferencias significativas, donde el menor rendimiento se obtuvo en T15 y los mayores rendimientos en T6 y T8 con más de 55 t ha⁻¹, lo que coincide con los rendimientos reportados para esta región (Salgado *et al.*, 2010). El tamaño de fruto de 2.09 kg se considera medio y es similar a lo reportado



para los cultivares Perola, Gold, Jupi, Smoth Cayenne e imperial cultivadas en Brasil (Sampaio *et al.*, 2011; Gusmao *et al.*, 2012), considerando que en la región los frutos grandes son de 5 kg. Una posible explicación a este bajo rendimiento puede ser la deficiencia de Ca, Mg y micronutrientes en el suelo, ya que, al suministrar estos nutrientes de forma creciente, aumenta el peso y diámetro del fruto de piña (Amorin *et al.*, 2011; Uriza *et al.*, 2018). No se encontró correlación entre el rendimiento y NDVI.

CONCLUSIONES

La piña Cabezona acumuló 389.3 g de materia seca durante su ciclo de crecimiento en promedio 0.80 ± 0.13 g de materia seca por día.

Se observó una buena relación entre biomasa seca y rendimiento, ya que a mayor biomasa acumulada mayor es el rendimiento obtenido.

El cultivo de piña Cabezona resultó poco sensible al NDVI, no mostró relación con la biomasa acumulada, IAF o rendimiento.

El IAF se incrementa drásticamente después del tratamiento de inducción floral, debido a la disminución del ángulo de inclinación de las hojas, provocado por la inflorescencia.

Se recomienda utilizar la dosis de fertilización 200-110-250, ya que resulta más barata que la dosis 200-150-250, y permite obtener un rendimiento de 55.5 t ha⁻¹ de fruta fresca.

LITERATURA CITADA

- Amorin, V.A., Feitosa, De L.C., Herbster, M.C.F., & G.F.E. (2011). Fruit size and quality of pineapples cv. vitória in response to micronutrient doses and way of application and to soil covers. *Rev. Bras. Frutic.* 33(Esp. 1): 505-510. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500068>.
- Balasundram-kumar, S., Abu-Kassim, F., Vadamalai, G., & Mohd-Hanif, A.H. (2013). Estimation of red tip disease severity in pineapple using a non-contact sensor approach. *Agricultural Sciences* 4(4): 206-208. DOI: 10.4236 / as.2013.44029.
- Del Ángel, P.A.L., Rebolledo, M.A., Uriza, A.D.E., Rebolledo, M.L. y Zetina, L.L. (2011). La piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 233 p. ISBN 978-607-425-547-8.
- Gentleman, R., Ihaka, R. (1993) R Studio (Version 3.5.1.). Departamento de Estadística de la Universidad de Auckland.
- Gusmao, S.R., Aguilar, R.A., Silva, A.M., De Oliveira, F., & Rodrigues, M. (2012). Abacaxi 'turiçu': cultivar tradicional nativa do maranhão. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, v. 34, n. 4, p. 1270-1276.
- Leonardo, P.F.A., Pereira, E.W., Silva, M.S., Araújo, C.R., & Mendonça, N.R.M. (2014). Tamanho ótimo da parcela experimental de abacaxizeiro 'vitória. *Rev. Bras. Frutic.* 36(4): 909-916. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-396/13>.
- Sampaio, C.A., De Fatima, F.T. y Leonel, S. (2011). Crescimento vegetativo e características dos frutos de cinco cultivares de abacaxi na região de bauru-sp. *Rev. Bras. Frutic.* 33(3): 816-822. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000101>.
- Salgado, G.S., Palma, L.D.J., Zavala, C.J., Ortiz, G.C.F., Lagunes, E.L.C., Ortiz, C.A.I., Córdova, S.S. y Salgado, V.S. (2017a). Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México. *Agroproductividad* 10(12): 16-21.
- Salgado, G.S., Palma, L.D.J., Zavala, C.J., Ortiz, G.C.F., Lagunes, E.L.C., Castelán, E.M., Guerrero, P.A., Ortiz, C.Á.I., & Córdova, S.S. (2017b). Integrated system for recommending fertilization rates in pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) crop. *Acta Agron.* 66(4): 566-573. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v66n4.62257>
- Salgado, G.S., Palma, L.D.J., Zavala, C.J., Ortiz, G.C.F., Lagunes, E.L.C., Castelan, E.M., Guerrero, P.A., Ortiz, C.A.I. y Córdova, S.S. (2010) Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF): en la zona piñera de Huimanguillo, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 81 p.
- Turrent, A. (1985). El método gráfico-estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la matriz Plan Puebla I. Colegio de Posgraduados Chapingo.
- Zavala, C.J., Salgado, S.G., Marín, A.A., Palma, L.D.J., Castelán, E.M. & Ramos, R.R. (2014). Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(2), 123-137.



ADAPTABILIDAD DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*)”

“ADAPTABILITY OF SUGARCANE VARIETIES (*Saccharum spp*)”

Valdez-Balero, A.¹; Izquierdo-Reyes, F²; Gamas-Jiménez, J.³ y Torres-Espitia, I.³.

¹Profesor Investigador del Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km. 3.5. H. Cárdenas, Tabasco.

²Investigador del Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km. 3.5. H. Cárdenas, Tabasco.

³Técnico de la Unión Local de Productores de Caña de Azúcar del ingenio Pdte. Benito Juárez, A. C. andador Carlos Pellicer Cámara No. 21, colonia obrera del ingenio presidente Benito Juárez, poblado C-27, Cárdenas, Tabasco.

Autor para correspondencia: apoloniouvb@colpos.mx

RESUMEN

Recomendar variedades de caña de azúcar al cultivo comercial, es una necesidad para el campo cañero. Para ello, las variedades deberán ser evaluadas, seleccionadas y multiplicadas en fases sucesivas, en un inicio con híbridos y en subsecuentes fases la evaluación se realizará en clones. Para ello se evaluaron 14 variedades de caña de azúcar en ciclo plantilla, el diseño experimental consto de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron características agrícolas: altura, peso, diámetro de tallos, así como, rendimiento de campo, También, se tomaron en consideración características industriales en la evaluación: como, contenido de sacarosa, pureza de jugo, producción de azúcar teórica y fibra. En los resultados obtenidos, al menos seis variedades de caña de azúcar mostraron altos rendimientos de campo y fábrica con respecto a las variedades testigo, COLPOSCTMEX 09-1433, LTmEX 94-02, MEX 95-59, EMEX 91-117, MEX 95-03 y MOTZMEX 00-1192. Al respecto en altura de tallo, la variedad que sobresalió fue la COLPOSCTMEX 09-1433, la variedad que mostro mayor peso de tallo fue la variedad LTmEX 94-02, la variedad que presentó mayor diámetro de tallo fue EMEX 96-35 y lo que se refiere al rendimiento de campo sobresalió la variedad COLPOSCTMEX 09-1433. Entre las características de fábrica evaluadas en sacarosa sobresalió la variedad MEX 96-10 con mayor concentración, en lo que se refiere a azúcar teórica la variedad que presentó mayor producción fue la variedad COLPOSCTMEX 09-1433.

Palabras clave: *Evaluación, selección, rendimiento, sacarosa*

INTRODUCCIÓN: El Mejoramiento Genético en caña de azúcar se realiza a través de la evaluación, selección y multiplicación de híbridos a través de 10 fases sucesivas, para recomendar una variedad como prometedora al final del proceso se requieren de 10 a 13 años de evaluación continua (Senties, *et al.*, 2014). En el sureste de México, en la actualidad se cultivan 100 mil ha, de las cuales el 70% de la superficie está cubierta con dos variedades la Mex 69-290 y CP 72-2086 (Manual azucarero mexicano, 2020), el rendimiento nacional es de 70 ton ha⁻¹ (SIAP, 2020), mientras que en el sureste del país es de 50 ton ha⁻¹ (SAGARPA, 2016), aunado a esto, los campos cañeros envejecidos, con problemas de enfermedades y con altos porcentajes de mezcla de variedades. Esta problemática ocasiona pérdidas en perjuicio de productores e industriales. A partir del 2006, el Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados inició el Programa de Mejoramiento Genético con el objetivo de seleccionar variedades que superen a las existentes en rendimiento de campo y en contenido de sacarosa. Para resolver esta problemática, se evaluaron en la fase adaptabilidad 14 variedades de caña de azúcar que han sobresalido en el proceso de selección.

MATERIALES Y MÉTODOS: El presente trabajo se realizó en la parcela de la Unión Local de Productores de Caña de Azúcar del ingenio Benito Juárez, A. C. en el Poblado C-27 de Cárdenas, Tab., que está ubicada en 18°00'37" latitud N y 93°34'56" longitud W. Con 14 clones de caña de azúcar seleccionadas en el Campo Experimental del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados COLPOSCTMEX 09-1433, LTmEX 94-02, MEX 95-59, EMEX 91-117, MEX 95-03, MOTZMEX 00-1192, MEX 95-35, MEX 09-82, EMEX 91-917, EMEX 96-35, M 1658-78 Y MEX 96-10, CP 72-2086 (t) y MEX



69-290 (t). El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron variables agrícolas: población (se contaron los tallos existentes en 10 m de longitud), peso de tallo, (se consideró el peso de tallo en 10 metros lineales), diámetro de tallo (se midió en la parte media del tallo en los 10 m), altura (se tomó desde la base del tallo hasta el último colar visible) y rendimiento de campo (se determinó con la información obtenida de peso de tallo y tallos por hectárea). se realizaron cinco repeticiones de cada característica agrícola evaluada, por parcela en cada uno de los cuatro bloques); se consideraron las variables industriales: se enviaron muestras de 10 tallos al laboratorio de ingenio Benito Juárez utilizando el método de pol ratio, desde los 11 meses de edad, para elaborar la curva de madurez, se determinó: contenido de sacarosa, pureza de jugo, fibra y azúcares reductores, así como, se calculó el rendimiento de azúcar teórico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

ALTURA Y DIÁMETRO DE TALLO. La altura de tallos molederos tuvo una alta influencia por parte de los tratamientos de variedades de caña de azúcar evaluadas. La variedad COLPOSCTMEX 09-1433 presentó mayor altura, mientras que las variedades MEX 96-10, MEX 69-290, MEX 09-82 y EMEX 91-917 registraron menor altura de tallo moledero, tal y como se aprecia en el Cuadro 1. El diámetro tuvo una alta influencia significativa por parte de los tratamientos de variedades de caña de azúcar evaluadas. Estadísticamente las variedades MEX 95-59 y MEX 69-290 tuvieron tallos más delgados, mientras que la variedad EMEX 96-35 registró el tallo más grueso, tal y como se aprecia en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características agrícolas de altura y diámetro de tallo de las variedades en estudio

Variedad	Altura de tallo (m)	Variedad	Diámetro de tallo (cm)
COLPOSCT 09-1433	3.30a	EMEX 96-35	3.8a
M 1658-78	3.23a	EMEX 91-917	3.5ab
EMEX 96-35	3.10ab	LTMEX 94-02	3.5ab
CP 72-2086	3.05ab	COLPOSCT 09-1433	3.4ab
MEX 95-03	3.05ab	MEX 95-03	3.3ab
LTMEX 94-02	3.03ab	MOTZMEX 00-1192	3.3ab
MEX 95-35	3.03ab	M 1658-78	3.2ab
MOTZMEX 00-1192	2.98ab	EMEX 91-117	3.2ab
EMEX 91-117	2.98ab	MEX 09-82	3.2ab
MEX 95-59	2.95ab	MEX 95-35	3.2ab
MEX 96-10	2.85b	MEX 96-10	3.1ab
MEX 69-290	2.85b	CP 72-2086	3.0ab
MEX 09-82	2.83b	MEX 95-59	2.9b
EMEX 91-917	2.83b	MEX 69-290	2.8b
Diferencia mínima significativa=0.4 cm; Coeficiente de variación 4.9%		Diferencia mínima significativa=0.82 cm; Coeficiente de variación 10.0%	

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes

TALLOS POR HECTÁREA, PESO DE TALLO Y RENDIMIENTO DE CAMPO. Estadísticamente la variedad con menor cantidad de tallos molederos fue MEX 96-10 y la que obtuvo mayor cantidad de tallo por hectárea fue la variedad COLPOSCTMEX 09-1433, se observa en el Cuadro 2. En el peso de tallo existieron diferencias significativas, la variedad que obtuvo mayor peso fue la LTMEX 94-02 y la variedad que obtuvo el menor peso de tallo observado en gramos fue la variedad EMEX 96-35, se muestra en el Cuadro 2. En lo relativo al rendimiento de campo, existieron diferencias significativas entre variedades, la de mayor rendimiento fue la COLPOSCTMEX 09-1433 y la de menor rendimiento fue la M 1659-78, tal y como se observa en el Cuadro 2.



Cuadro 2. Características agrícolas de tallos por hectárea, peso de tallo y rendimiento de las variedades en estudio

Variedad	Tallos por ha	Variedad	Peso de tallo (m)	Variedad	Rend. (tonxha)
COLPOSCT 09-1433	94,643a	LTMEX 94-02	1,930a	COLPOSCT 09-1433	142a
MEX 95-35	81,250ab	MEX 95-59	1,694abc	LTMEX 94-02	134ab
MEX 95-03	80,357ab	MOTZMEX 00-1192	1,551abcd	MEX 95-59	125ab
EMEX 91-117	79,917ab	EMEX 91-117	1,507abcde	EMEX 91-117	118bcd
CP 72-2086	79,634ab	COLPOSCTMEX 09-1433	1500abcde	MOTZMEX 00-1192	115bcd
MEX 09-82	79,464ab	MEX 95-03	1,434bcde	MEX 09-82	109bcd
EMEX 91-917	78,826abc	MEX 09-82	1,371bcde	MEX 95-03	108bcd
MEX 95-59	76,786abc	CP 72-2086	1,311cde	CP 72-2086	104bcd
EMEX 96-35	75,893abc	EMEX 91-917	1,293cde	MEX 95-35	103bcd
MOTZMEX 00-1192	74,107abc	MEX 95-35	1,267cde	EMEX 91-917	101bcd
M 1658-78	69,643bc	MEX 69-290	1,252de	MEX 69-290	85cd
LTMEX 94-02	69,643bc	MEX 96-10	1,234de	M1658-78	84cd
MEX 69-290	67,694bc	M 1658-78	1,216de	EMEX 96-35	84cd
MEX 96-10	57,143c	EMEX 96-35	1,105e	MEX 96-10	70d
Diferencia mínima significativa=22031 tallos; Coeficiente de variación 11.5%		Diferencia mínima significativa=431 g; Coeficiente de variación 11.9%		Diferencia mínima significativa=34.9; Coeficiente de variación 13.0%	

Medias con misma letra, no son estadísticamente diferentes

SACAROSA, PUREZA DE JUGO, AZÚCAR TEÓRICO Y FIBRA. En el Cuadro 3. se observan los datos de las características industriales, en lo relativo a la variable sacarosa existieron diferencias significativas entre variedades, la de mayor contenido de sacarosa fue la variedad MEX 96-10 y las de menor contenido MEX 95-59, EMEX 91-917, MEX 09-82 y EMEX 91-917, Cuadro 3. En la característica industrial pureza de jugo existió diferencia significativa entre las variedades evaluadas, las variedades MEX 09-82, EMEX 91-917 y EMEX 91-117 presentaron menor pureza de jugo, mientras que la variedad MEX 96-10 fue la que presentó mayor porcentaje de pureza en su jugo, Cuadro 3. En lo relativo a la producción de azúcar teórico, existieron diferencias significativas entre tratamientos, las variedades EMEX 96-35, M 1658-78 y MEX 96-10 mostraron los valores más bajos, mientras que la variedad COLPOSCTMEX 09-1433 mostró el valor más alto, Cuadro 3. En la variable contenido de fibra, no existieron diferencias significativas entre las variedades estudiadas.

Cuadro 3. Características industriales de las variedades en evaluación

Variedad	Sacarosa (%)	Variedad	Pureza de jugo (%)	Variedad	Azúcar teórico (txha)	Variedad	Fibra (%)
MEX 96-10	15.4a	MEX 96-10	87.925a	COLPOSCT 09-1433	20.75a	M 1658-78	13.5a
COLPOSCT 09-1433	14.7b	COLPOSCT 09-1433	87.45ab	LTMEX 94-02	17.825ab	LTMEX 94-02	13.3a
MEX 95-35	14.1c	CP 72-2086	86.75bc	MEX 95-59	16.375abc	COLPOSCT 09-1433	13.2a
CP 72-2086 (t)	13.8d	MEX 95-35	86.2cd	EMEX 91-117	15.7abc	EMEX 96-35	13.0a



Mex 69-290 (t)	13.5d	MEX 69-290	86.1cde	MEX 95-03	15.4abc	MEX 95-35	12.5a
MEX 95-03	13.4d	MEX 95-03	85.9def	MOTZMEX 00-1107	15.175abc	EMEX 91-917	12.4a
LTMEX 94-02	13.2d	MOTZMEX 00-1192	85.575defg	CP 72-2086	15.125abc	CP 72-2086	12.4a
MOTZMEX 00-1192	13.2d	LTMEX 94-02	85.55defg	MEX 95-35	14.475bc	MEX 95-03	12.4a
EMEX 96-35	13.2d	EMEX 96-35	85.45efg	MEX 09-82	13.45bc	MEX 69-290	12.3a
M 1658-78	13.1d	M 1658-78	85.2fg	EMEX 91-917	13.125bc	MEX 09-82	12.3a
MEX 95-59	12.5e	MEX 95-59	84.9g	MEX 69-290	12.3bc	EMEX 91-117	12.1a
EMEX 91-9	12.4e	MEX 09-82	83.65h	EMEX 96-35	11.05c	MEX 95-59	12.0a
MEX 09-82	12.3e	EMEX 91-917	83.575h	M 1658-78	10.975c	MOTZMEX 00-1192	11.7a
EMEX 91-117	12.2e	EMEX 91-117	83.575h	MEX 96-10	10.775c	MEX 96-10	11.7a
Diferencia mínima significativa=0.4%; Coeficiente de variación 1.08%		Diferencia mínima significativa=0.8%; Coeficiente de variación 0.03%		Diferencia mínima significativa=5.9 ton; Coeficiente de variación 16.2%		Diferencia mínima significativa=2.1%; Coeficiente de variación 6.6%	

CONCLUSIONES

Seis variedades de caña de azúcar, mostraron altos rendimientos de campo y fábrica, COLPOSCTMEX 09-1433, LTMEX 94-02, MEX 95-59, EMEX 91-117, MEX 95-03 y MOTZMEX 00-1192. Es pertinente continuar la evaluación, selección y multiplicación de estas variedades en prueba semicomercial, que es la siguiente fase sucesiva.

AGRADECIMIENTOS

A la Unión Local de Productores de Caña de Azúcar del ingenio Pte. Benito Juárez, A. C. por el financiamiento del proyecto "Generación de nuevas variedades de caña de azúcar"

LITERATURA CITADA

- Manual azucarero mexicano. 2020. Cía. Editora del manual azucarero, S. A. de C. V. 63ª edición. 504 pp.
- SAGARPA. 2016. Variedades con mejores rendimientos de las zonas cañeras en México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114367/Nota Informativa Febrero 2016 Variedades con Mejores Rendimientos de las Zonas Ca eras en M_xico.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114367/Nota_Informativa_Febrero_2016_Variedades_con_Mejores_Rendimientos_de_las_Zonas_Ca_eras_en_M_xico.pdf). Consultado agosto 2020.
- Sentíes H. H. E., Gómez M. F. C., Valdez B. A., Silva R. H. V., Trejo T. L. I. 2014. The Agro- industrial Sugarcane System in Mexico: Current Status, Challenges and Opportunities. Journal of Agricultural Science.
- SIAP. 2020. Avance de siembras y cosechas. Resumen Nacional por Cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx. Consultado en 19 octubre 2020.



PLAGUICIDAS PARA EL CONTROL DE MOSCA BLANCA (*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) EN JITOMATE EN INVERNADERO

PESTICIDES FOR THE CONTROL OF WHITE FLY (*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) IN TOMATO IN GREENHOUSE

¹Cabrera Mireles H, ² Murillo Cuevas FD, ¹Reyes Loyola C, ¹Vásquez Hernández A, ²Adame García J, ¹Jimenez Jimenez M., y ¹Andrés García A.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CE Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera libre Veracruz-Córdoba. CP 94270. Medellín de Bravo, Veracruz. México.

²Tecnológico Nacional de México/IT de Úrsulo Galván. Avenida El Paraíso S/N, Campestre, 91667 Úrsulo Galván, Ver.

*Autor por correspondencia: cabo.cabrera50@gmail.com

RESUMEN

El jitomate, es la hortaliza de mayor producción en México, ya que se cultiva para atender la demanda nacional y la de exportación. La producción de jitomate en invernadero es muy eficiente para los productores debido a incrementos en el rendimiento y adaptación a diferentes esquemas de producción. Sin embargo, a pesar de las condiciones protegidas de los invernaderos, las hortalizas, como el jitomate, se ven afectadas por insectos plagas, dentro de los que destaca la mosca blanca. Por lo anterior el objetivo del trabajo fue evaluar la eficiencia de un plaguicida sintético y dos biológico en el control de la mosca blanca en el cultivo de jitomate en condiciones de invernadero y su interacción con tres bioestimulantes. Se utilizó el cultivo de jitomate variedad Toro F1, el cual se estableció en un invernadero en los terrenos productivos del Campo Experimental Cotaxtla del Inifap. Se utilizó un diseño factorial en bloques completos al azar, con interacción. Los factores fueron: 1. Plaguicidas con cuatro niveles: I) Movento®, II) *Isaria javanica* 307, III) *Beauveria bassiana* y IV) Blanco. 2. Bioestimulantes con cuatro niveles: I) *Trichoderma harzianum* T22® 0.5% + *Rhizophagus intraradices*®, II) Genifix®, III) Mix® y IV) Blanco., y 3. Días después de la aplicación con cuatro niveles: 3, 5, 7 y 14 días. La eficiencia de los plaguicidas en el control de mosca blanca *T. vaporariorum* en jitomate en invernadero fue similar estadísticamente. Los promedios más altos de eficiencia se registraron para el insecticida Movento® en el control de huevo; *B. bassiana* en adulto; e *I. javanica* 307 en adulto y total de estadíos. La mayor eficiencia de los plaguicidas fue a los 7 y 14 días después de la aplicación. Los bioestimulantes no contribuyeron a la eficiencia del control de la mosca blanca *T. vaporariorum*.

Palabras claves: Hortalizas, *I. javanica*, Movento, *B. bassiana*, invernadero

INTRODUCCIÓN

El jitomate, es la hortaliza de mayor producción en México, ya que se cultiva para atender la demanda nacional y la de exportación. Al primer mes de 2021 para el ciclo primavera-verano 2020, la producción de jitomate fue de un millón 878 mil 289 toneladas (SIAP, 2021). Entre las hortalizas que México exporta, el jitomate es la más importante, por la derrama económica que representa para los agricultores y comercializadores en su venta externa. En 2020, el volumen exportado alcanzó un millón 662 mil toneladas (SIAP, 2021). La principal producción de jitomate es a cielo abierto; sin embargo, aproximadamente de las 7,700 ha destinadas a cultivos protegidos, el 63.7% de la superficie se destina al cultivo de jitomate (SIAP, 2019). La producción de jitomate en invernadero es muy eficiente para los productores debido a incrementos en el rendimiento y adaptación a diferentes esquemas de producción (Sánchez *et al.*, 2010; Barrios *et al.*, 2015; Terrones, 2019). La producción de hortalizas en invernadero genera mayor calidad y rendimiento del producto (Espinoza y Ramírez, 2016; Terrones, 2019). Sin embargo, a pesar de las condiciones protegidas de los invernaderos, las hortalizas, como el jitomate, se ven afectadas por insectos plagas, dentro de los que destaca la mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) (Gastélum-Luque *et al.*, 2014; Martínez-Tomás *et al.*, 2015; Murillo-Cuevas *et al.*, 2020).



Las moscas blancas son plagas de importancia económica tanto en invernaderos como en cultivos a cielo abierto, causan daños directos en los cultivos al alimentarse de las plantas y daños indirectos porque son vectores de virus (Lugo *et al.*, 2011; García-Guerrero *et al.*, 2015; Peláez-Arroyo *et al.*, 2016). En México se han registrado 67 especies en 27 géneros de mosca blanca (Fu *et al.*, 2008), las cuales se encuentran distribuidas en gran parte del país, afectando principalmente cultivos de chile, melón, pepino, calabaza, jitomate, col y lechuga, principalmente (Domínguez *et al.*, 2002; Servín *et al.*, 2002; García-Guerrero *et al.*, 2015; Pacheco-Covarrubias *et al.*, 2016).

Para el control de la mosca blanca la práctica más utilizada es el uso de insecticidas sintéticos comunes, lo cual ha llevado al desarrollo de resistencia en la plaga, aumento en los problemas de contaminación ambiental, salud pública y contaminación en los alimentos, así como al incremento de los costos de producción (Hernández *et al.*, 2004; Araya *et al.*, 2005; Fenik *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2013; Cantú *et al.*, 2019).

De tal forma, que la utilización de insecticidas de última generación (Gastélum-Luque *et al.*, 2014; Peláez-Arroyo *et al.*, 2016) y/o bioinsecticidas a base de entomopatógenos (Espinell *et al.*, 2009; García *et al.*, 2013; Murillo *et al.*, 2020) que reduzcan el daño ambiental y la resistencia a los plaguicidas, son alternativas en el desarrollo de nuevas estrategias que ofrecen una alternativa al control convencional de la mosca blanca. Por lo anterior el objetivo del trabajo fue evaluar la eficiencia de un plaguicida sintético y dos biológico en el control de la mosca blanca en el cultivo de jitomate en condiciones de invernadero y su interacción con tres bioestimulantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el cultivo de jitomate variedad Toro F1, el cual se estableció en un invernadero en los terrenos productivos del Campo Experimental Cotaxtla del Inifap, ubicado en el km 34 de la carretera libre Veracruz-Córdoba. Las condiciones ambientales del estudio corresponden a una planicie costera a 6 msnm con un clima tropical subhúmedo, condiciones que hacen propicio para la expresión de las plagas, especialmente para hortalizas.

Invernadero.

El invernadero fue tipo tropical con ventana cenital para favorecer la salida de aire caliente. Domo con cubierta de plástico transparente y laterales de malla blanca antiáfidos. Se aplicó un acolchado plástico blanco-negro, calibre 90. Se formaron camas de siembra a todo lo largo del invernadero, con una altura aproximada de 40 cm y 1.00 m de ancho. Se aplicó el abono orgánico Lombricomposta, producido en el centro de producción de abonos orgánicos del campo Experimental Cotaxtla. El tratamiento de fertilización química se manejó de forma racional ecológica, aplicando sólo el 50% de este tratamiento.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial con arreglo de tratamientos en bloques completos al azar, con interacción. Los factores fueron:

1. Plaguicidas con cuatro niveles: I) Movento® (como producto comercial de última generación), II) *Isaria javanica* 307, III) *Beauveria bassiana* (como insecticidas biológicos) y IV) Blanco (testigo).
2. Bioestimulantes con cuatro niveles: I) *Trichoderma harzianum* T22® 0.5% + *Rhizophagus intraradices*, II) Genifix® (Cepas de *Bacillus*), III) Mix® (mezcla de cuatro *Trichodermas*: *T. viridae*, *T. asepellum* y *T. koningii*) y IV) Blanco (testigo).
3. Días después de la aplicación (dda) con cuatro niveles: 3, 5, 7 y 14 dda.

Las variables de respuesta fueron: 1) Eficiencia de los bioplaguicidas para controlar a los estados de huevo, ninfa y adulto de mosca blanca, 2) Eficiencia de los bioestimulantes para controlar huevo, ninfa y adulto de mosca blanca y 3) Eficiencia del control en cuatro fechas posteriores a la aplicación de los tratamientos.

Diseño del muestreo

De cada parcela experimental se muestrearon las dos plantas centrales (parcela útil) de las cuales se tomaron dos hojas, una en la parte superior y la otra de la parte media de cada planta. Las hojas se trasladaron al Laboratorio de Entomología del Campo Experimental Cotaxtla donde se registró el número de organismos, por estado de desarrollo (huevo, ninfa y adulto), clasificándolos en vivos,



muestras y micosados. Para los conteos se utilizó un espacio de muestra de 1.2 cm², el cual se colocó en el envés de la hoja, a lo largo de la nervadura central en la región basal de cada hoja.

Diseño estadístico

Los datos de los muestreos fueron transformados a eficiencia (%) mediante la fórmula de Henderson y Tilton.

$$\text{Eficiencia \%} = \left(1 - \frac{\text{n en Co antes del tratamiento} * \text{n en T después del tratamiento}}{\text{n en Co después del tratamiento} * \text{n en T antes del tratamiento}} \right) * 100$$

Donde: n = número de insectos, T = tratamiento, Co = control

Para el análisis estadístico se utilizó el programa GLMM univariado, mediante los paquetes estadísticos SPSS 20 e INFOSTAT, obteniendo el análisis de varianza de los factores independientes y su interacción. La prueba de medias se realizó con la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sólo en la etapa de huevo se registraron diferencias estadísticas significativas entre la eficiencia de los plaguicidas ($F_{2,26}=14.837$, $p= 0.0023$), siendo el plaguicida Movento® más eficiente (87.5%) que el bioplaguicida *I. javanica* 307, pero estadísticamente igual en eficiencia al bioplaguicida *B. bassiana* (Cuadro 1). Los estados de ninfa ($F_{2,400}=1.040$, $p=0.354$) y adulto ($F_{2,14}=2.781$, $p=0.096$) no registraron diferencias significativas en la eficiencia de los plaguicidas, al igual que en el total de los organismos ($F_{2,459}=0.426$, $p=0.653$) (Cuadro 1). En el control de ninfas de mosca blanca la eficiencia de los plaguicidas fue mayor al 50% y como máximo el 65 % obtenido por *I. javanica* 307; para los adultos la eficiencia fue mayor al 79%, llegando a una eficiencia máxima del 100% por parte del bioplaguicida a base de *B. bassiana* (Cuadro 1). Sin embargo, cuando se tomo en cuenta el total de los organismos de todas las etapas fenológicas, la eficiencia de los plaguicidas sólo registró un rango del 58 a 63%, siendo el de mayor promedio el bioplaguicida *I. javanica* 307 (Cuadro 1).

Las eficiencias de los plaguicidas tomando en cuenta los días después de la aplicación (dda) en cada una de las etapas fenológicas de la mosca blanca mostraron los mayores porcentajes a los 7 y 14 dda (Figura 1). Para la etapa fenológica de huevo, el plaguicida Movento® inició con un 80% de eficiencia a los 3dda y se incrementó hasta al 100% a los 5, 7 y 14 dda (Figura 1a).

Cuadro 1. Eficiencia de plaguicidas en el control de mosca blanca *T. vaporariorum* en jitomate en invernadero.

Plaguicidas	Huevos	Ninfas	Adulto	Total
Movento	87.5±7.2 ^a	56.4±3.7 ^a	80.0±9.3 ^a	58.7±2.9 ^a
<i>B. bassiana</i>	68.7±8.1 ^{ab}	58.1±3.4 ^a	100.0±6.8 ^a	59.5±3.1 ^a
<i>I. javanica</i> 307	54.5±8.1 ^b	65.1±4.0 ^a	86.7±7.3 ^a	63.1±3.5 ^a

En la etapa de huevo, el bioplaguicida a base de *I. javanica* 307 superó al bioplaguicida a base de *B. bassiana* a los 3 y 5 dda, y sólo hasta los 7 y 14 dda el bioplaguicida a base de *B. bassiana* se emparejo al bioplaguicida *I. javanica* 307 e insecticida Movento® (Figura 1a).

En la etapa de ninfa, sólo a los 5 dda hubo una ligera diferencia entre la eficiencia de los plaguicidas, siendo el bioplaguicida *I. javanica* 307 más eficiente (60%), en los otros días de muestreo después de la aplicación no se registraron diferencias entre la eficiencia de los plaguicidas (Figura 1b). A los 14 dda los plaguicidas superaron el 80% de eficiencias de control en la etapa de ninfa (Figura 1b).

Para la etapa de adulto, a los 3 dda los plaguicidas *B. bassiana* y Movento® obtuvieron el 100% de eficiencia, al 5dda sólo *B. bassiana* mantuvo el 100% de eficiencia a diferencia de Movento® (50%) e *I. javanica* 307 (65%) y para los 7 y 14 dda todos los plaguicidas registraron un 100% de eficiencia en el control de mosca blanca (Figura 1c). Los bioestimulantes e interacción plaguicida*bioestimulantes no registraron diferencias significativas ($p>0.05$), de tal forma que los bioestimulantes no contribuyeron a la eficiencia del control de la mosca blanca.

Nuestros resultados corroboran y actualizan los efectos de el insecticida Movento® y bioinsecticidas a base de *B. bassiana* y *I. javanica* 307 sobre la mosca blanca *T. vaporariorum* en jitomate en invernadero, con las mayores eficiencias en la etapa fenológica de adulto y a los 7 y 14 dda.

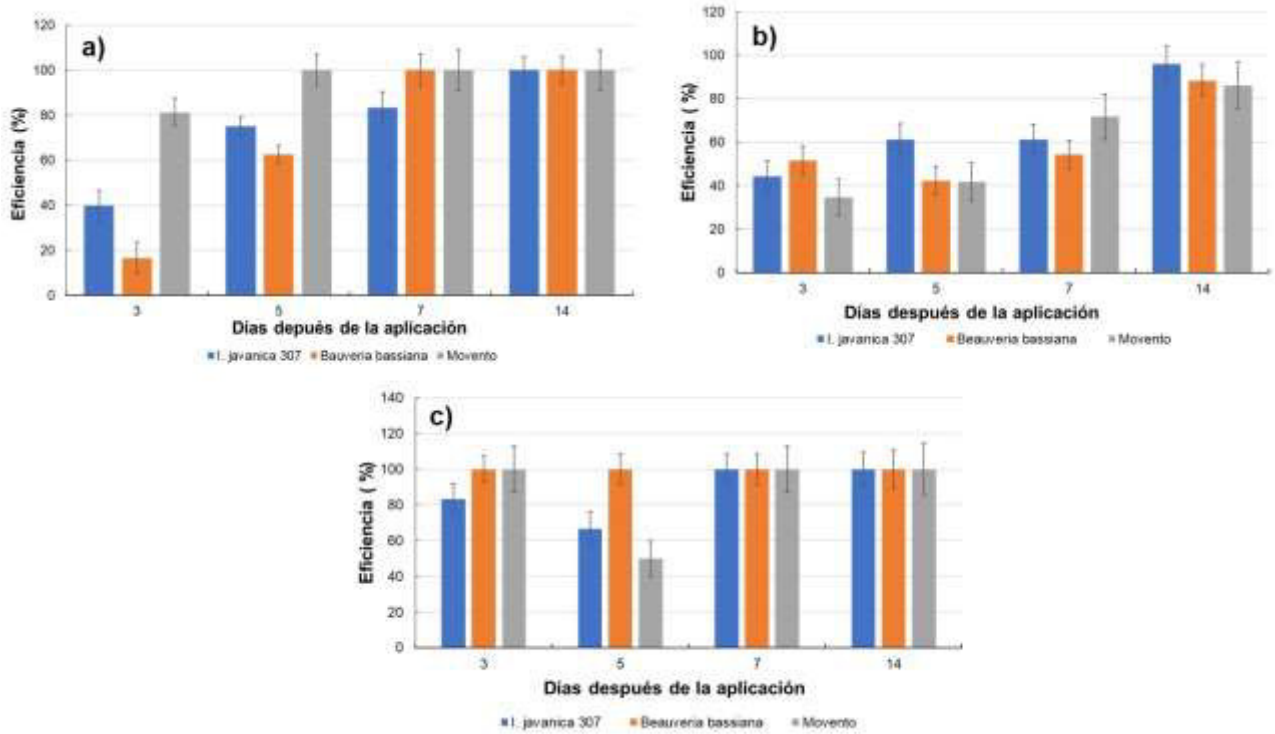


Figura 1. Eficiencia de plaguicidas en el control de mosca blanca *T. vaporariorum* en jitomate en invernadero en relación a los días después de la aplicación. a) Huevo, b) Ninfa y c) Adulto.

Nuestros resultados en relación al insecticida Movento® demuestran una respuesta favorable de este insecticida de última generación, principalmente en huevos y adultos, lo que coincide con Kühnhold et al. (2008), quienes señalaron que spirotetramat OD 150 para el control de *T. vaporariorum* en pimiento mostró una clara respuesta de eficacia consistentemente. Estos autores también señalan que sobre *Myzus persicae* se puede esperar un bajo efecto inicial y una persistencia prolongada, lo cual coincide parcialmente con los resultados de Elizondo y Murguido (2010), los cuales obtuvieron eficiencias entre el 81 y el 94,9% en *M. persicae* en papa. También se ha reportado la evaluación del insecticida Movento® en combinación con otros productos para el control de *B. tabaci* en jitomate, obteniéndose eficiencias que variaron de 77.09 al 84.57 % en combinación con Sivanto® Prime y de 61.41 al 82.82 % en combinación con Confidor® en diferentes evaluaciones (Peláez-Arroyo et al., 2016), resultados muy similares a los obtenidos en nuestro trabajo (Cuadro 1). Por otro lado, se ha comprobado la eficiencia del Movento® en la rotación de insecticidas para el manejo de mosca blanca en tomate bajo casa sombra (Gastélum-Luque et al., 2014).

Para el caso de los bioplaguicidas, se ha reportado que *B. bassiana* causa una mortalidad de mosca blanca en jitomate en invernadero similar a la de un plaguicida químico (García et al., 2013) lo que coincide y corrobora nuestros resultados. En condiciones de laboratorio reformulados a base de *B. bassiana* obtuvieron eficiencias del 96.5% a los 14 días postaplicación en el control de ninfas de *B.*



tabaci (Espinel *et al.*, 2008), valores similares a los reportados en nuestro trabajo (Figura 1b). Por otro lado, se ha reportado que *I. javanica* en combinación con aceite de nim es eficiente en el control de mosca blanca en el cultivo de jitomate (Murillo *et al.*, 2020), lo que se corrobora en nuestro trabajo para huevos y adultos principalmente.

CONCLUSIONES

La eficiencia de los plaguicidas en el control de mosca blanca *T. vaporariorum* en jitomate en invernadero fue similar estadísticamente. Los promedios más altos de eficiencia se registraron para el insecticida Movento® en huevo de mosca blanca, *B. bassiana* en adulto de mosca blanca e *I. javanica* 307 en adulto de mosca blanca y total de organismos. La mayor eficiencia de los plaguicidas fue a los 7 y 14 días después de la aplicación. Los bioestimulantes no contribuyeron a la eficiencia del control de la mosca blanca *T. vaporariorum*.

LITERATURA CITADA

- Araya, R. L., E. Carazo, R. y V. M. Cartín, L. 2005. Diagnóstico del uso de insecticidas utilizados contra *Bemisia tabaci* (Gennadius) en tomate y chile en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. 75: 68-76.
- Barrios, J. M., B. Suárez, W. Cruz, B. Barrios, G. Vázquez, A. Ibáñez y D. Moreno. 2015. Fertilización fosfatada en rendimiento y calidad de tomate en invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6(4): 897-904.
- Cantú, N. P. C., M. Meza, M.M., A. I. Valenzuela, Q., C. Osorio, R., G. García, Z., P. Grajeda, C. y M de L. Gutiérrez, C. 2019. Determinación de plaguicidas organoclorados en hortalizas del sur de Sonora: calidad y seguridad de los alimentos en relación a los límites máximos permitidos. Biotecnía 2: 19-27.
- Domínguez, T. A., E. García, P., J. E. Pacheco, V., Villanueva-Jiménez, J. A. y D. Téliz, O. 2002. Control de mosquita blanca y virosis en jitomate con cubierta flotante en Veracruz. Revista Fitotecnia Mexicana. 3: 311-316.
- Elizondo, S. A. I. y C. A. Murguido, M. 2010. Spirotetramat, nuevo insecticida para el control de insectos chupadores en el cultivo de la papa. Fitosanidad 14 (4): 229-234.
- Espinel, C., L. Torres, E. Grijalba, L. Villamizar, A. Marina C. 2008. Preformulados para control de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) en condiciones de laboratorio. Revista Colombiana de Entomología 34 (1): 22-27.
- Espinel C. C., L. Torres T. y A. Marina C. 2009. Efecto de hongos entomopatógenos sobre estados de desarrollo de *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). Revista Colombiana de Entomología 35 (1): 18-21.
- Espinosa, L. E. y O. Ramírez. 2016. Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7(2): 325-335.
- Fenik, J., Tankiewicz, M. and Biziuk, M. 2011. Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. Trends in Analytical Chemistry 30: 814-826.
- Fu, C. A. A., Lourencao, A. L., Rodríguez. A. C., Quevedo, F. C. G., García, V. F., Arredondo, B. H. C., Lara, R. J., Djair, V. I., Avilés, G. M. C. Nava, C. V. y R. V. E. Carapia. 2008. Moscas blancas. Temas selectos sobre su manejo. México. Colegio de Posgraduados. 120 pp.
- García, R. E., R. Pérez P., B. L. León E. y L. Pliego M. 2013. Patogenicidad de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* sobre mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 6: 1129-1138.
- García-Guerrero, D. A., O. García-Martínez y V. E. Carapia-Ruiz. 2015. Especies de moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), asociadas a cultivos y arvenses en el norte de Veracruz, México. Entomología Mexicana 2: 552-557.
- Gastélum-Luque, R., T. P. Godoy-Angulo, M. López-Meza, M. G. Yáñez-Juárez, J. F. Inzunza-Castro y F. Avendaño-Meza. 2014. Rotación de insecticidas para el manejo de mosca blanca *Bemisia tabaci* biotipo B Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) y madurez irregular en frutos de tomate bajo casa sombra. Entomología Mexicana 1: 846-851.



- Hernández, A., A. Gómez, M., Pena, G., Gil, F., Rodrigo, L., Villanueva, E. y Pla, A. 2004. Effect of long-term exposure to pesticides on plasma esterases from plastic greenhouse workers. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 67: 1095-1108.
- Kühnhold, J., A. M. Klueken, L. de Maeyer, X. van Waetermeulen, E. Brück and A. Elbert. 2008. Movento, an Innovative Solution for Sucking Insect Pest Control in Agriculture: Field Performance in Fruits and Vegetables. *Bayer CropScience Journal* 61 (2): 279-306.
- Lugo, M.O.Y., R. Guzmán, U., R. S. García, E. y J. León, F. 2011. Geminivirus Transmitidos por Mosca Blanca (*Bemisia tabaci*) en Tomate, en el Valle Agrícola de Culiacán, Sinaloa. *Revista Mexicana de Fitopatología* 2: 109-118.
- Martínez-Tomás, S. H., C. Rodríguez-Hernández, R. Pérez-Pacheco, C. Granados-Echegoyen, Y. D. Ortiz-Hernández y F. Floreán-Méndez. 2015. Evaluación de tres extractos vegetales en la población de mosca blanca en el cultivo orgánico de jitomate en invernadero. *Entomología Mexicana* 2: 371-375.
- Murillo-Cuevas, F. D., H. Cabrera-Mireles, J. Adame-García, J. A. Fernández-Viveros, J. Villegas-Narváez, V. López-Morales, A. Vázquez-Hernández e I. Meneses-Márquez. 2020. Evaluación de insecticidas biorracionales en el control de mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) en la producción de hortalizas. *Biotecnia* 22(1): 39-47.
- Pacheco-Covarrubias, J. J., J. Soto, N. y J. M. Valenzuela, V. 2016. Densidad poblacional de mosca blanca *Bemisia* spp. (Hemiptera: Aleyroididae) en el valle de Guaymas-Empalme, Sonora, México. *Biotecnia*. 3: 9-13.
- Peláez-Arroyo, A., M. Vargas-Hernández, J. F. Díaz-Nájera, S. Ayvar-Serna, O. G. Alvarado-Gómez, M. Acosta-Ramos y M. A. Tejeda-Reyes. 2016. Alternativas de control de *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) en jitomate, en el trópico seco de Guerrero. *Entomología mexicana* 3: 425-429.
- Pérez, Ma. A., Navarro, H. y Miranda, E. 2013. Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgo en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 45-64.
- Sánchez, F., E. C. Moreno, R. Coatzín, M. T. Colinas y A. Peña. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Horticultura* 16(3): 207-214.
- Servín, R., Tejas, A. y Lugo, O. 2002. Morfotipos de *Bemisia argentifolii* Bellows y Perring (Homoptera: Aleyrodidae) asociados a plantas hospedantes de Baja California Sur, México. *Folia Entomológica Mexicana* 41(3): 339-346.
- SIAP, 2021. Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). Escenario mensual de productos agroalimentarios, Tomate rojo (Jitomate). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/621464/Escenario_Tomate_rojo_Jitomate_feb_2021.pdf
- SIAP, 2019. Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. Blog: Producción de jitomate en invernadero. <https://www.gob.mx/agricultura/cdmx/articulos/produccion-de-jitomate-en-invernadero?idiom=es>
- Terrones, C. A. 2019. Producción de jitomate en invernadero en San Juan Tilcuautla, Hidalgo, México. *Revista mexicana de agronegocios*. 23(44): 170-183.



Sección B: Acuacultura



CRECIMIENTO, SUPERVIVENCIA Y RENDIMIENTO DE CANAL EN UN BICULTIVO DEL DORMILÓN GORDO DEL PACÍFICO (*Dormitator latifrons*) Y LA TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*).

GROWTH, SURVIVAL AND CARCASS YIELD IN A BICULTURE WITH PACIFIC FAT SLEEPER (*Dormitator latifrons*) AND NILE TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*).

¹Palma-Cancino DJ*, ¹Vega-Villasante F, ²Basto-Rosales MER, ³Martínez-García R, ³Álvarez-González CA, ¹Chong Carrillo O.

¹Universidad de Guadalajara (UDG), Centro Universitario de la Costa (CUC), Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura (LACUIC), Puerto Vallarta, Jalisco, México

²Tecnológico Nacional de México. La Cruz de Huanacastle, Bahía de Banderas, Nayarit, México.

³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Acuicultura Tropical, Villahermosa, Tabasco, México.

*Autor para correspondencia: plusdpc@gmail.com

RESUMEN

Entre las estrategias utilizadas para desarrollar la acuicultura de peces nativos a nivel mundial, implementar sistemas de policultivo con peces de alto valor comercial ha producido buenos resultados. El objetivo de este estudio consistió en presentar los primeros resultados en rendimiento de canal en un sistema de producción de bicultivo del pez nativo dormilón gordo del Pacífico (*Dormitator latifrons*) con la tilapia (*Oreochromis niloticus*). Para evaluar el sistema de producción, se sembraron 250 organismos de cada especie en tanques de concreto con una capacidad de 50 m³, los peces fueron alimentados durante 90 días, hasta obtener valores comerciales. Se midieron las variables biológicas (crecimiento, supervivencia, conversión alimenticia, eficiencia proteica) y se evisceraron algunos peces para obtener el rendimiento de canal promedio por especie. Los resultados biológicos sugieren una buena interacción entre las especies, con ganancias en peso superiores a 900%, supervivencia cercana al 100% y buenos rendimientos de canal. Los buenos resultados del rendimiento de canal sugieren que no hay una competencia importante por el alimento, que limite significativamente el crecimiento de alguna de las dos especies. Incluir al *D. latifrons* en sistemas de bicultivo con tilapia, puede incentivar la producción de este organismo en zonas rurales de la costa del Pacífico Mexicano.

Palabras clave: *Pez nativo, policultivo, rendimiento de canal, viabilidad, acuicultura sustentable.*

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la acuicultura de peces nativos, supone una alternativa importante al desplazamiento ecológico generado por el cultivo de peces exóticos con mercados más desarrollados, como son las tilapias *Oreochromis spp.* o las carpas *Cyprinus spp.* (Klotz et al., 2013; Basto-Rosales et al., 2019). Mungiti et al. (2014), sugieren la introducción de la especie de bajo valor comercial a desarrollar, en policultivos o bicultivos con especies comerciales con tecnología de cultivo consolidada y características biológicas similares.

Las tilapias (*Oreochromis spp.*, *Tilapia spp.* & *Sarotherodon spp.*), representan el segundo grupo de peces más cultivados a nivel mundial (Wang & Lu, 2016). El 90 % de la producción global de tilapias se abastece con tilapia nilótica (*O. niloticus*) (FAO, 2020), ya que es omnívora, posee la capacidad de convertir casi cualquier alimento en proteína de alta calidad, y tiene un importante valor comercial. Por lo anterior, *O. niloticus* es una especie muy utilizada en sistemas de policultivo (Azim et al., 2003), tanto con peces, como con crustáceos (Bessa Junior et al., 2012; Wang & Lu, 2016).

Dormitator latifrons, conocido como dormilón gordo del Pacífico, popoyote, puyequé, chame etc., representa una importante alternativa de acuicultura sustentable de peces nativos en la costa del Pacífico central de México (Basto Rosales et al., 2019). Su cultivo se encuentra parcialmente dominado en Ecuador (Castro-Rivera et al., 2005; Rodríguez-Montes de Oca et al., 2012; Freire-Lascano, 2013), mientras en México se ha estudiado su nutrición (López-Huerta et al., 2018; Badillo-Zapata et al., 2018);



parasitología (Violante-González et al., 2008; Vega-Villasante et al., 2017); calidad nutritiva de su carne (Basto-Rosales et al., 2020); así como su cultivo en estanques de concreto a bajas densidades (Basto-Rosales et al., 2019). Sin embargo, aún no se domina su cultivo a altas densidades, ni se ha estudiado el impacto económico de su cultivo.

Con base en su rápida adaptabilidad, crecimiento, desarrollo en cautiverio (López-López et al., 2015), resistencia a bajas concentraciones de oxígeno disuelto en agua (López-Huerta et al., 2018), capacidad notable de osmorregulación (Zapata et al., 2019), y al éxito de su crecimiento utilizando dietas para tilapias (Freire-Lascano, 2013; Basto-Rosales et al., 2019), el objetivo de este estudio es evaluar el crecimiento, desarrollo, supervivencia y rendimiento de canal, del bicultivo de este pez nativo con tilapia nilótica (*O. niloticus*). Los resultados obtenidos pretenden a su vez, incentivar mayores investigaciones sobre el policultivo de estos peces que, de ser rentable, ofrecerían una alternativa más sustentable para la producción de ambas especies en el Pacífico Central Mexicano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Organismos

Los juveniles de *Dormitator latifrons* se capturaron en la laguna el Quelele ubicada a 20° 43' 25.43" N Y 105° 18' 03.63" O, Bahía de Banderas, Nayarit y fueron transportados al Tecnológico Nacional de Bahía de Banderas (TNBB). Previo a su cultivo fueron mantenidos en cuarentena y sometidos a un tratamiento con triclorfón (Neguvon®) a una concentración de 0.3 ppm, durante 10 a 12 minutos en un contenedor de 200 L para la eliminación de endo y ectoparásitos.

Se obtuvieron 500 organismos *Oreochromis niloticus* var. Stirling de una granja de producción acuícola ubicada en Manzanillo, Colima. Para el transporte de los organismos se utilizó un transportador de fibra de vidrio con capacidad de 500 L y aireación constante.

Sistema de cultivo experimental y parámetros medioambientales del agua de la unidad de cultivo (UC)

Se utilizó un estanque de concreto de 50 m³ como unidad de cultivo experimental (UE) llenado con agua corriente proveniente del sistema de red potable municipal de la Cruz de Huanacastle, Nayarit y con suministro constante de aireación por un aireador (Pioneer®) y un recambio de agua del 5% semanal. La toma de parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques se llevó a cabo diariamente (08:00 y 19:00 horas); la temperatura y el oxígeno disuelto se registraron con un equipo multiparámetros (YSI®), la turbidez se determinó cada semana con un disco de Secchi.

Diseño experimental

El peso inicial de los organismos fue de 16.9±5.6 y 13.1±4.3 g para *D. latifrons* y *O. niloticus* respectivamente. Los peces fueron cultivados a una misma densidad de siembra (10 org m⁻³) y alimentados dos veces al día (08:00 y 19:00 horas) con alimento balanceado Nutripec™, Purina® (proteína 35 %, grasa 8 %). La ración alimenticia se ajustó de acuerdo con la biomasa total (suma de los pesos totales de ambas especies) al 8 % inicial y terminando con el 3 % (disminuyendo el porcentaje de acuerdo con el incremento de biomasa total en el transcurso del cultivo de 90 días). Los muestreos biológicos (biometrías) se realizaron cada mes determinando el peso total (g) con una balanza electrónica (Rhino®) y la longitud total con un ictiómetro (cm), desde la cabeza hasta la aleta caudal.

Parámetros zootécnicos

La evaluación del desarrollo de los peces se llevó a cabo, evaluando el incremento de peso (GW) en gramos y la tasa específica de crecimiento (TEC) con las siguientes ecuaciones:

$$GP = (Pf - Pi)$$
$$TEC = [(Ln Pf - Ln Pi)/t] * 100$$

En donde *Pf* es peso final, *Pi* peso inicial y *t* tiempo en días. La biomasa inicial de cada especie (*Bi*) fue estimada a partir del número inicial de individuos (*Ni*) de cada especie y el promedio de peso final (*Pi*), mientras para la biomasa final (*Bf*) se utilizaron los totales de peso promedio y organismos totales del final (*Pf* y *Nf*, respectivamente). La ganancia de biomasa (*BG*) para cada especie se calculó restando su correspondiente *Bf* y *Bi*:



$$Bi = Pi * Ni$$
$$Bf = Pf * Nf$$
$$BG = Bf - Bi \text{ (por especie)}$$

El factor de conversión alimenticia se calculó con:

$$FCA = \frac{\text{Consumo de alimento (g)}}{\text{Ganancia de peso (g)}}$$

La supervivencia se estimó con:

$$\text{Supervivencia (\%)} = \frac{(\text{Organismos finales} * 100)}{\text{Organismos iniciales}}$$

Finalmente, la tasa de eficiencia proteica se calculó con:

$$(TEP) = \frac{\text{Ganancia de peso (g)}}{\text{Consumo de proteína (g)}}$$

Rendimiento de canal

Se estimó el rendimiento de canal (RC) y peso eviscerado (PE) de 60 organismos. Se tomó un tamaño de muestra de 30 organismos de cada especie con un peso promedio de 194.1±62.6 (*D. latifrons*) y 258.2±59.2 (*O. niloticus*).

Los organismos fueron pesados enteros con una balanza digital de campo (Torrey® LPCR-20N) y eviscerados, posteriormente se lavaron con agua corriente y fueron pesados nuevamente para obtener el rendimiento entre los pesos enteros y eviscerados.

El CY se calculó de acuerdo con Rojas-Runjiac et al. (2011).

$$\text{Rendimiento de canal} = \left(\frac{PE}{PT} \right) * 100$$

Donde *PE* es el peso del pescado eviscerado y *PT* es el peso de pescado entero, multiplicado por cien.

Análisis estadístico

A los datos obtenidos de parámetros zootécnicos se les aplicó análisis de normalidad y homocedasticidad; al peso final (*Wf*) de los dos tratamientos (*D. latifrons* y *O. niloticus*) se realizaron pruebas de normalidad (k-S) y homocedasticidad (Levene) y para determinar si existen diferencias significativas se aplicó una prueba de suma de rangos por Mann-Whitney, con un nivel de confianza del 95 %. Para la ganancia en peso (GW), porcentaje en incremento en Peso (%GW) y tasa de crecimiento específico (SGR) se aplicó prueba de normalidad (K.S) y una t Student para observar si existen diferencias estadísticas significativas. Lo anterior se realizó con el paquete estadístico Minitab 18®. Por su parte, a los datos de obtenidos de peso, rendimiento de canal (CP) y rendimiento eviscerado (EP) se les realizaron pruebas de normalidad y homocedasticidad y para saber si hubo diferencias estadísticas entre los datos obtenidos de las dos especies, se realizó la prueba de t Student, con un intervalo de confianza del 95 %. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadísticos Sigma Plot versión 11.0®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación biológica

Durante los 90 días de policultivo el peso final (187.5±70.3), la ganancia en peso (174.4±37.3) y el porcentaje de incremento en peso (1431.3±46.7) de *O. niloticus* fueron mayores y presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) con los mismos índices registrados en *D. latifrons*. Sin embargo, la tasa de crecimiento específico (TEC), en ambas especies, no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) registrando valores de 2.44 (*D. latifrons*) y 2.96 (*O. niloticus*). La tasa de eficiencia proteica (TEP) para ambas especies fue de 2.33, así como el factor de conversión



alimenticio (FCA) que fue de 1.22:1. El consumo de total de alimento durante los 90 días del policultivo fue de 95 kg y la ganancia en peso total de 77.4 kg. Finalmente, el porcentaje de sobrevivencia fue de 98 % para las dos especies en cultivo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros zootécnicos del policultivo de *Dormitator latifrons* y *Oreochromis niloticus* cultivados en estanque de concreto. Se muestran los datos \pm SD. Letras diferentes en cada fila (superíndices) muestran diferencias significativas (P <0.05)

Rendimiento	<i>D. latifrons</i>	<i>O. niloticus</i>
Peso inicial (g)	16.9 \pm 5.6	13.1 \pm 4.3
Peso final (g)	152.1 \pm 62.6 ^b	187.5 \pm 70.3 ^a
Ganancia en peso (GP)	135.2 \pm 34 ^b	174.4 \pm 37.3 ^a
% en Incremento en Peso (%GP)	900 \pm 40.3 ^b	1431.3 \pm 46.7 ^a
Biomasa inicial (g)	4233.3 \pm 5.04	3270.5 \pm 4.3
Biomasa final (g)	38,035.8 \pm 62.6	46,868.8 \pm 70.3
Biomasa ganada (g)	33,802.3 \pm 57	43,598.3 \pm 66
Biomasa total	77400.6	
Alimento consumido total	95040.65	
Tasa de Crecimiento Especifico (TEC)	2.44 ^a	2.96 ^a
Factor de conversión alimenticia (FCA)	1.22	
Tasa Eficiencia Proteica (TEP)	2.33	
Sobrevivencia (%)	98	98

Los parámetros de calidad de agua se mantuvieron dentro del rango adecuado para la mayoría de las especies de peces de climas tropicales, utilizados en la acuicultura (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de los parámetros de calidad del agua durante el policultivo (*Dormitator latifrons* y *Oreochromis niloticus*) confinados en estanques de cemento. Se muestran los datos \pm SD.

Mes	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Turbidez (Cm)
Septiembre	33.3 \pm 0.3	6.5 \pm 0.4	7.1 \pm 0.2	40 \pm 3
Octubre	30.9 \pm 1.4	6.4 \pm 0.1	7.8 \pm 0.3	40 \pm 1.4
Noviembre	28.8 \pm 4.5	5.8 \pm 0.3	7.8 \pm 0.2	42 \pm 3.3
Diciembre	29.8 \pm 0.4	6.0 \pm 0.6	7.8 \pm 0.2	3 \pm 72.4

En el Cuadro 3 se observan los resultados del peso promedio eviscerado (PE) y los rendimientos de canal (RC) de los pescados de ambas especies. El PE y RC de ambas especies son estadísticamente diferentes.

Cuadro 3. Resultados de rendimiento de canal en *D. latifrons* y *O. niloticus*. Se muestran los datos \pm DE. Letras diferentes en cada fila (superíndices) muestran diferencias significativas (P <0.05)

Parámetro	<i>D. latifrons</i>	<i>O. niloticus</i>
PT (g)	194 \pm 62.6 ^b	258.2 \pm 59.2 ^a
PE (g)	167.8 \pm 53.2 ^b	231.7 \pm 53.9 ^a
RC (%)	86.6 \pm 2.3 ^b	89.7 \pm 1.4 ^a



Existen diversos ejemplos de bicultivos que involucran no solo dos especies de peces sino otras como crustáceos, moluscos y macroalgas. La selección de *O. niloticus* para evaluar en bicultivo a *Dormitator latifrons*, se basa principalmente en la fácil domesticación y la importancia comercial del primero, tal como sugieren Rodríguez-Montes de Oca & Dabrowski (2015), así como en la similitud de los hábitos alimenticios del *D. latifrons* con las tilapias (Castro-Rivera et al., 2005; Basto-Rosales et al., 2019).

Los resultados del bicultivo de este trabajo, sugieren la ausencia de interacciones negativas entre las especies evaluadas. Esto concuerdan con esfuerzos como el de Gokcek (2011), quienes evaluaron el crecimiento de tilapia y el barbo *Carasobarbus luteus* a diferentes densidades de siembra en cajas de malla, encontrando la ausencia de efectos adversos, sin embargo, en dicha investigación los rendimientos de tilapia se vieron afectados con el incremento de las densidades del barbo. Rodríguez-Montes de Oca & Dabrowski (2015), desarrollaron el cultivo de esta especie con pez midas (*Amphilophus citrinellus*), un cíclido centroamericano demandado como pez ornamental. Se evaluaron las interacciones sociales entre ellos y se concluyó que la presencia de los midas no inhibe el crecimiento de la tilapia a pesar, de que el primero demuestra un comportamiento agresivo. Sin embargo, queda pendiente evaluar el efecto de distintas densidades de siembra sobre el crecimiento de las especies, como Santamaría-Miranda et al. (2018), quienes evaluaron los efectos de diferentes densidades siembra de tilapia y el crustáceo *Macrobrachium americanum* en los parámetros sanguíneos y composición corporal, cuyos resultados demuestran que el policultivo mejora los parámetros en ambas especies, a ciertas densidades de siembra.

De forma individual para *D. latifrons*, el crecimiento fue inferior al reportado por Basto-Rosales et al. (2019), quienes en un tiempo de cultivo similar obtuvieron GW superiores a 230 g. Esto puede explicarse, debido a la menor densidad de cultivo utilizada en dicho trabajo y la ausencia de competencia por alimento con otra especie. La supervivencia fue alta y similar en ambas especies, sugiriendo que *D. latifrons* y *O. niloticus* son organismos que bajo cultivo representan una viabilidad productiva excelente sobre todo en el aporte de proteína, por otro lado, ambas especies pueden socialmente estar juntas al no mostrar un comportamiento agonístico entre ellos durante el cultivo, coincidiendo con Bessa Junior et al. (2012), y Sahu et al. (2017), quienes no reportaron agresividad entre especies policultivadas. La supervivencia fue relativamente similar a Basto-Rosales et al. (2019), lo que pudiera sugerir que *D. latifrons* puede soportar mayores densidades de cultivo tanto en monocultivo, como en bicultivo.

En nuestros resultados, los porcentajes de incremento en peso de *O. niloticus* fueron superiores al *D. latifrons*, con 1431 y 900 % respectivamente. Las supervivencias fueron del 98% en ambas especies. La diferencia en el incremento de biomasa puede deberse a los diferentes comportamientos de ambas especies, similar a Papoutsoglou et al. (2001), donde en bicultivo de *O. niloticus* y *Cyprinus carpio*, observó un mayor crecimiento en carpa debido a la mayor rapidez al alcanzar el alimento. La densidad de siembra de ambos organismos fue la misma, con el objetivo de descartar el efecto que pudiera tener esta variable sobre el crecimiento, ya que en otros trabajos se ha observado que el organismo en mayor proporción produce mayor biomasa, observándose menor ganancia de talla en *O. niloticus* cuando es sembrada en proporciones menores a *C. carpio* (Papoutsoglou et al., 2001; Mandal et al., 2011) y *Clarias gariepinus* (De Graaf et al., 2005).

Oreochromis niloticus es una especie mucho más activa y voraz que *D. latifrons*, sugiriendo que la conducta y hábitos alimenticios pudieran tener un efecto importante sobre las ganancias de peso individual en las especies. Esto concuerda con Hernández et al. (2014), donde se aprovechó el comportamiento predatorio del cíclido maya (*Cichlasoma urophthalmus*) para limitar el crecimiento excesivo de *O. niloticus* con el objetivo de obtener tallas menores para los mercados rurales, sin embargo, al incrementar la densidad de *C. urophthalmus*, este deja de crecer debido a la competencia por larvas de tilapia para su alimentación. A su vez, la alta actividad de *O. niloticus*, sugiere la necesidad de utilizar refugios en policultivos con crustáceos (Ponce-Marbán et al., 2006; Uddin et al., 2007; Bessa Junior et al., 2012). A pesar de los resultados anteriores es factible considerar el bicultivo de ambas especies ya que no ocupan un mismo nicho trófico y ninguna de las dos es predatoria o agresiva, similar a Tahoun et al. (2013), donde la utilización de *O. niloticus* en policultivos con especies nativas estimulaba incluso el crecimiento y la conversión alimenticia en todas las especies; o Bessa Junior et al. (2012), donde a mayores peces y camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), se presentó un mayor rendimiento y ganancia de biomasa, al ocupar nichos distintos.

El rendimiento de canal presentó diferencias significativas en ambas especies. El peso de las vísceras fue en ambos casos de 27 g, sin embargo, considerando el PE registrado por la tilapia, aunado con el



mayor crecimiento, sugiere un mayor RC. Para ambas especies el RC se puede considerar superior, comparándolo con otras investigaciones, como Rojas-Runjaic et al. (2011), quienes obtuvieron sólo 66.7% de RC en una variedad regional de *O. niloticus* en Venezuela; Intarak et al. (2015), quienes con *Pangasius bocourti* obtuvieron entre 60 – 62% a diferentes tallas; y Sahu et al. (2017), quienes obtuvieron RC menores a 40% aunque en *O. niloticus* de tamaños menores, y menores a 50% con *Pontius gonionotus*.

Como especie nativa con un mercado regional subdesarrollado, introducir el cultivo de *D. latifrons* en bicultivo con una especie de alto valor comercial como es *O. niloticus*, podría ayudar a difundir su cultivo, esta idea basada en casos exitosos en otras especies nativas cultivadas con tilapias en Asia (Karim et al., 2011; Wang & Lu, 2016). El impacto socioeconómico y ecológico que pudiera tener el transferir esta tecnología a los productores rurales en el Pacífico Central de México, podría ser altamente significativo para la consolidación del mercado de *D. latifrons*, tal como sugiere Basto-Rosales et al. (2020), generando una mayor diversificación en la dieta de las comunidades más cercanas a la disponibilidad de este pez y considerarlo un recurso proteico de mayor importancia, similar a lo que sucede en Ecuador (Schwarz, 2007).

CONCLUSIÓN

El crecimiento y supervivencia de ambas especies en un sistema de bicultivo, sugiere una adecuada interacción, sin una competencia que limite la productividad del sistema. Los rendimientos de canal de ambas especies fueron altos. Recomendar el cultivo de *D. latifrons* en sistemas de policultivo con especies de alto valor comercial, es primordial para incrementar su consumo y mercado en poblaciones rurales del Pacífico Mexicano, pudiendo llevar al desarrollo de una acuicultura tropical sustentable de esta especie nativa.

LITERATURA CITADA

- Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., Mantingh, I., Van Dam, A.A., & Beveridge, M.C.M. 2003. Ingestion and utilization of periphyton grown on artificial substrates by Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, 34: 85–92.
- Badillo-Zapata, D., De Jesús-Zaragoza, J. F., Vega-Villasante, F., López-Huerta, J.M., Herrera-Reséndiz, S., Cueto-Cortés, L., & Guerrero Galván, S.R. 2018. Requerimiento de proteína y lípidos para el crecimiento de juveniles del pez nativo *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5: 345-351. DOI: 10.19136/era.a5n14.1554
- Basto-Rosales, M.E.R, Rodríguez-Montes de Oca, G.A., Carrillo-Farnés, O., Álvarez-González, C.A., Badillo-Zapata, D., & Vega-Villasante, F. 2019. Growth of *Dormitator latifrons* under different densities in concrete tanks. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22: 489-493.
- Basto-Rosales, M.E.R., Carrillo-Farnés, O., Montoya-Martínez, C.E., Badillo-Zapata, D., Rodríguez-Montes de Oca, G.A., Álvarez-González, C.A., Nolasco-Soria, H., & Vega-Villasante, F. 2020. Meat protein quality of *Dormitator latifrons* (Pisces: Eleotridae): arguments for use by rural communities. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1): e2172. doi: 10.19136/era.a7n1.2172
- Bessa Junior, P.A., Borges Azevedo, C.M.S., Thé Pontes, F.S., & Henry-Silva, G.G. 2012. Polyculture of Nile tilapia and shrimp at different stocking densities. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41: 1561–1569.
- Castro-Rivera, R., Aguilar, B.G., & Hernández, G.J.P. 2005. Conversión alimenticia en engordas puras y mixtas de popoyote (*Dormitator latifrons* Richardson) en estanques de cemento. *AquaTIC*, 23: 45-52.
- De Graaf, G.J., Dekker, P.J., Huisman, B. & Verreth, J.A.J. 2005. Simulation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus niloticus* L.) culture in ponds, through individual-based modelling, using a population dynamic approach. *Aquaculture Research*, 36: 455-471.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2020. The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia, 244 pp.
- Freire-Lascano, C.A. 2013. Experiencias en el manejo del chame (*Dormitator latifrons*) en la cuenca del río Guayas, Ecuador. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 7: 1-13.



- Gokcek, K. 2011. Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and himri barbel, *Carasobarbus luteus* (Heckel, 1843), duoculture in net cages. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10: 1102-1005.
- Intarak, I., Lhasudta, P., Jathurasitha, S., Wicke, M., & Kreuzer, M. 2015. Effects of slaughter weight on carcass and meat characteristics of Punga fish (*Pangasius bocourti* Sauvage). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 5: 164-169. doi: 0.1016/j.aaspro.2015.08.025
- Karim, M., Little, D.C., Kabir, M.S., Verdegem, M.J., Telfer, T., & Wahab M.A. 2011. Enhancing benefits from polycultures including tilapia (*Oreochromis niloticus*) within integrated pond-dike systems: a participatory trial with households of varying socio-economic level in rural and peri-urban areas of Bangladesh. *Aquaculture*, 314: 225–235. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.01.027
- Klotz, W., Miesen, F.W., Hüllen, S., & Herder, F. 2013. Two Asian fresh water shrimp species found in a thermally polluted stream. *Aquatic Invasions*, 8: 333-339. DOI: 10.3391/ai.2013.8.3.09
- López-Huerta, J., Vega-Villasante, F., Viana, M.T., Carrillo-Farnés, O., & Badillo-Zapata, D. 2018. First report of nutritional quality of the native fish *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844) (Perciformes: *Eleotridae*). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46: 849-854. doi: 10.3856/vol46-issue4-fulltext-24
- López-López, V.V., Rodríguez-Montes de Oca, G.A., Galavíz, M.A., Román-Reyes, C., Medina-Hernández, E.A., Dabrowski, K., & Haws, M.C. 2015. Descripción histológica comparativa del desarrollo del sistema digestivo y visual de larvas de chame *Dormitator latifrons* (Pisces: *Eleotridae*). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43: 484-494.
- Mandal, R.B., Shrestha, M.K., Jha, D.K., Pant, J. & Pandit, N.P. 2011. Scaling Up of cage-cum-pond culture system of catfish and tilapia in cages in carp polyculture ponds. In: *Proceedings of the 9th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, (ed. by L. Liu & K. Fitzsimmons), China: 372–376.
- Munguti, J.M., Kim, J.D., & Ogello, E.O. 2014. An overview of Kenyan aquaculture: current status, challenges, and opportunities for future development. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(1): 1-11. doi: 10.5657/FAS.2014.0001
- Papoutsoglou, S.E., Miliou, H., Karakatsouli, N.P., Tzitzinakis, M. & Chadio, S. 2001. Growth and physiological changes in scaled carp and blue tilapia under behavioral stress in mono-and polyculture rearing using a recirculated water system. *Aquaculture International*, 9: 509–518.
- Ponce-Marbán, D., Hernández, J.M. & Gasca-Leyva, E. 2006. Simulating the economic viability of Nile tilapia and Australian redclaw crayfish polyculture in Yucatan, Mexico. *Aquaculture*, 261: 151–159.
- Rodríguez-Montes de Oca, G.A., Medina-Hernández, E., Velázquez-Sandoval, J., López, L, V.V., Román, R, J.C., Dabrowski, K., & Haws, M.C. 2012. Production of chame (*Dormitator latifrons*, Pisces: *Eleotridae*) larvae using GnRHa and LHRHa. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 25:422-429.
- Rodríguez-Montes de Oca, G.A., & Dabrowski, K. 2015. Growth and body composition of midas (*Amphilophus citrinellus*) and nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in duoculture. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 28: 255-264. doi: 10.17533/udea.rccp.v28n3a6
- Rojas-Runjaic, B., Perdomo, D.A., García, D.E., González-Estopiñan, M., Corredor, Z., Moratinos, P., & Santos, O. 2011. Rendimiento en canal y fileteado de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Chiltralada producida en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 29(1): 113-126.
- Sahu, B.B, Barik, N.K., Routray, P., Agnibesh, A., Paikaray, A., Mohapatra, S., & Sundaray, J.K. 2017. Comparative studies on carcass characteristics of marketable size farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) and silver barb (*Puntius gonionotus*). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(2): 6-9.
- Santamaría-Miranda, A., Rojo-Cebreros, A.H., Sainz-Hernández, J.C., Apún-Molina, J.P., García-Guerrero, M. García-Ulloa Gómez, M., & Ponce-Palafox, J.T. 2018. Effects of stocking densities in blood chemistry and biochemical body composition of nile tilapia *Oreochromis niloticus* and the prawn *Macrobrachium americanum* in polyculture. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(3): 512-517. doi: 10.3856/vol46-issue3-fulltext-3



-
- Schwarz, L. 2007. Freshwater fish seed resources in Ecuador. In: Bondad-Reantaso MG (ed) Assessment of freshwater fish seed resources for sustainable aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. No. 501. Food and Agriculture Organization of the United
- Tahoun, A.A., Suloma, A., Hammouda, Y., Abo-State, H., & El-Haroun, E. 2013. The effect of stocking different ratios of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*, Striped Mullet *Mugil cephalus*, and Thinlip Grey Mullet *Liza ramada* in polyculture ponds on biomass yield, feed efficiency, and production economics. North American Journal of Aquaculture, 75: 548–555. doi: 10.1080/15222055.2013.826764
- Uddin, M.S., Rahman, S., Azim, M.E., Wahab, M.A., Verdegem, M., & Verreth, J.A. 2007. Effects of stocking density on production and economics of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) polyculture in periphyton-based systems. Aquaculture Research 38, 1759–1769.
- Vega-Villasante, F., Cueto-Cortés, L., Basto-Rosales, M.E.R., Badillo-Zapata, D., Chong-Carrillo, O., Ruiz-González, L.E., Ríos-González, K.G., Galavíz-Parada, J.D., & Montoya-Martínez, C.E. 2017. Occurrence of *Argulus* sp. in *Dormitator latifrons* culture: prevalence, mortality and treatment. BioCiencias 4:1-14. doi: 10.15741/revbio.04.06.05
- Violante-González, J., Rojas-Herrera, A., & Aguirre-Macedo, L. 2008. Seasonal patterns in metazoan parasite community of the "Fat Sleeper" *Dormitator latifrons* (Pisces: Eleotridae) from Tres Palos Lagoon, Guerrero, Mexico. Revista de Biología Tropical, 56: 1419-1427. doi: 10.15517/rbt.v56i3.5719
- Wang, M., & Lu, M. 2016. Tilapia polyculture: a global review. Aquaculture Research, 47: 2363-2374. doi: 10.1111/are.12708
- Zapata, A.A., Vega-Villasante, F., Chong-Carrillo, O., Vargas-Ceballos, M.A., & Badillo-Zapata, D. 2019. Efecto de la salinidad sobre la frecuencia ventilatoria branquial de *Dormitator latifrons* (Richardson, 1984). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(18): 601-607.



Sección C: Agroecología



POR LA ADAPTACIÓN DE NUESTRAS COMUNIDADES A LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: AGRICULTURA FAMILIAR EN EL PAISAJE RURAL DE EL GRULLO-AUTLÁN

FOR THE ADAPTATION OF OUR COMMUNITIES TO EXTREME CLIMATE EVENTS: FAMILY FARMING IN THE RURAL LANDSCAPE OF EL GRULLO-AUTLÁN

¹Rodríguez Robles U, ¹Rosales Adame JJ, ¹Cevallos Espinosa J, ²Sánchez Chino X, ³Aragón Gastelum JL

¹Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara (CUCSur – UDG) de Autlán de Navarro, Jalisco, México

²Cátedra CONACyT, Departamento de Salud, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, 29290 San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

³Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche. Avenida Ing. Humberto Lanz Cárdenas y Fraccionamiento Ecológico Ambiental Siglo XXIII. Colonia. Ex Hacienda Kalá, San Francisco de Campeche, Campeche, 24085, México.

Autor de correspondencia: ulises.rodriguez@academicos.udg.mx

RESUMEN

Hoy en día, la agricultura se halla en una encrucijada. Se enfrenta a una presión cada vez mayor por proporcionar alimentos suficientes, asequibles y nutritivos a una población en crecimiento, así como por lidiar con el cambio climático y la degradación de los recursos naturales, en particular la escasez de agua, el agotamiento del suelo y la pérdida de biodiversidad. Los agricultores familiares han demostrado su capacidad de diseñar nuevas estrategias y dar respuestas innovadoras a los retos emergentes. No solo producen alimentos, cumplen simultáneamente funciones medioambientales, socioculturales y son guardianes de la biodiversidad al preservar el paisaje y conservar el patrimonio comunitario y cultural. El paisaje rural de El Grullo – Autlán basa su economía principalmente en el sector agropecuario. Lo variado del relieve territorial le permite contar con variados pisos térmicos para desarrollar múltiples actividades. Es importante destacar que esta región presenta un régimen de lluvias bimodal. Esta situación es considerada como una condicionante para el desarrollo agropecuario de la región, ya que la mayoría de los agricultores del territorio dependen de sus conocimientos locales sobre el clima, la temperatura y los patrones de lluvia para tomar decisiones respecto al uso de la tierra, selección de cultivos, fechas de siembra. De este modo, cualquier modificación de las condiciones climáticas terminará afectando la producción y el rendimiento de sus cosechas, por ende, afectará sus medios de vida y la seguridad alimentaria estará en riesgo. Debido a la potencialidad que estas percepciones y conocimientos ofrecen para el robustecimiento de las investigaciones experimental y sobre la variabilidad climática, es necesario ahondar en los conocimientos y saberes tradicionales comunitarios para el entendimiento integral de la agricultura familiar. Es urgente saber cómo los agricultores familiares comprenden el cambio climático y lo que ellos mismos están haciendo para adaptarse.

Palabras clave: *Cambio-Climático, Milpa, Paisaje-rural, Practicas-comunitarios, Saberes*

INTRODUCCION

Una gran proporción de las poblaciones rurales en los trópicos del centro y sur de América dependen de las condiciones climáticas para realizarla. En las últimas décadas la intensificación de los fenómenos de sequía y desertificación, mayor incidencia de eventos climáticos extremos y los cambios en el régimen climático, además de afectar las actividades productivas, especialmente en la población rural, constituyen la mayor amenaza para la seguridad alimentaria (Martínez-Torres y Rosset, 2014). El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) afirma que en América Latina y el Caribe se han observado cambios en la precipitación y aumentos en la temperatura que puede comprometer su proceso de desarrollo. Este fenómeno conocido como cambio climático (CC), especialmente está afectando con mayor severidad a los grupos sociales más desprotegidos (IPCC, 2014).



En la región Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco, la existencia de ecosistemas frágiles, sistemas de producción insostenibles y estrategias de desarrollo no acordes con las condiciones locales, entre otros factores, han convertido en la actualidad a estas regiones en una de las más propensas de Jalisco a sufrir los efectos adversos del CC. La deforestación cambia el clima, notablemente la temperatura y la distribución de las lluvias, influyendo en los cultivos, los agroecosistemas y las áreas habitadas, y con ello en la economía familiar y comunitaria, así como en la salud humana. La mayor amenaza para la agricultura de la región es la degradación del suelo, disminuyendo su capacidad para proporcionar bienes y servicios ecosistémicos (Zimmerer, 2014). La degradación del suelo se manifiesta de diversas formas: erosión del suelo, salinización, agotamiento de los nutrientes, pérdida de la biodiversidad del suelo, contaminación, compactación, pérdida de materia orgánica, o sellado del suelo, pudiendo convertirse en un desequilibrio agrícola y agravándose más por la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos (UDG. 2019). Proyecciones para las próximas dos décadas en la región de México y Centroamérica resaltan la vulnerabilidad de los sistemas productivos, particularmente de los cultivos tradicionales, como lo es la agricultura familiar (Manzo y López, 2013). Bajo estas proyecciones de cambio climático, la actividad agropecuaria tendrá que optar por estrategias más resilientes para fortalecer y/o garantizar la seguridad alimentaria, la economía local y el tejido social comunitario.

La pandemia del COVID-19 nos ha desnudado realidades que por décadas han sido poco comprendidas y han puesto de manifiesto nuestra vulnerabilidad. Debemos darnos cuenta de que si no actuamos ahora el futuro puede ser más complicado de lo que estamos viviendo (Rawal et.al. 2020). Apenas hace un año cuando no existía el panorama que ahora estamos viviendo por el virus del COVID-19, la FAO publicó el documento “El Sistema Alimentario en México: oportunidades para el campo mexicano en la agenda 2030” y proclamó el periodo 2019-2028 como “Decenio de las Naciones Unidas para la Agricultura Familiar” (UNDAFF, por sus siglas en inglés), estos documentos analizan la situación alimentaria en México. Las pautas de la alimentación de los mexicanos se han transformado en las últimas cuatro décadas impactando negativamente en el estado nutricional de las personas y aumentando su vulnerabilidad a enfermedades no transmisibles. La transformación de la alimentación ha acentuado el problema de malnutrición, que favorece la coexistencia de la desnutrición, sobrepeso y obesidad (FAO, 2018).

El paisaje de El Grullo – Autlán basa su economía principalmente en el sector agropecuario. Lo variado del relieve territorial le permite contar con variados pisos térmicos para desarrollar múltiples actividades agropecuarias. Es importante destacar que esta región presenta un régimen de lluvias bimodal, que se presentan de junio a agosto y de noviembre a enero. El resto del año se considera como período seco, aun cuando se presentan lluvias aisladas. En este contexto, la población necesita adaptarse al cambio climático mediante cambios en el uso del suelo, infraestructura y nuevas estrategias de manejo en los sistemas de producción agrícolas resilientes al clima, diseñando nuevos e innovadores sistemas de producción en los que se incorporen de forma sincrónica los saberes locales (conocimiento y prácticas) y los avances científicos que permitan desarrollar acciones de mitigación y mecanismos de adaptación al cambio climático.

Comprender las habilidades que tienen los campesinos de comunidades rurales de percibir el cambio climático y su variación es una precondition para diseñar estrategias de adaptación, para que realicen la transición agroecológica necesaria para llegar a estados de mayor resiliencia en sus agroecosistemas. En las últimas décadas mediante el uso de metodologías participativas se ha buscado mostrar que a pesar del cambio climático la aplicación de diferentes prácticas agroecológicas comunitarias puede llevar a cambios positivos en los sistemas agrícolas, en la resistencia de los agroecosistemas, en la biodiversidad y sus servicios ambientales que se traducen en beneficios para las comunidades rurales.

¿Cómo se relacionan los saberes con la multifuncionalidad de las parcelas? ¿Qué están haciendo los agricultores familiares para adaptar sus sistemas productivos al cambio climático? Para responder estas preguntas se propusieron los siguientes objetivos: 1) Analizar el cúmulo de saberes contemporáneos como contribuyen en el diseño, manejo y diversidad de la parcela: para ello se documentó los saberes y cualidades que representan las parcelas para los agricultores familiares y 2) Identificar las



percepciones de los agricultores familiares frente al cambio climático; con el apoyo un saber cómo los actores locales evalúan los efectos de la variabilidad climática sobre la producción, condiciones el suelo y la disponibilidad de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con un total de 4 familias de agricultores a pequeña escala en las comunidades de El Mentidero, El Chacalito (Autlán, Jalisco), Ayuquila y La Puerta del Barro (El Grullo, Jalisco), una familia por localidad, cada una con parcela agrícola. Mediante recorridos de campo se caracterizó la agrobiodiversidad planeada (cultivada) de la asociada (o espontánea). Se realizó investigación clásica de inventario de agrobiodiversidad en una selección de parcelas agrícolas. La participación de las familias de las cuatro comunidades permitió conocer la agrobiodiversidad y su funcionalidad; una vez generada una suficiente relación de comunicación y de confianza.

Estudio etnográfico de las funciones de las parcelas familiares

Se realizaron entrevistas libres a profundidad para documentar los saberes contemporáneos del uso de los elementos de las parcelas en las dietas de las familias (Geilfus, 2002), así como las funciones que representan las parcelas para los agricultores familiares (julio – diciembre de 2020).

Percepción de la variabilidad climática y medios de vida

La participación de las familias campesinas de las comunidades ha sido clave para obtener la información de interés. Mediante la percepción de los actores se identificaron los cambios en la precipitación, utilizando indicadores que se valorizaron en una línea de tiempo. Para relacionar esta percepción de la variabilidad climática con la información estadística sobre el clima y socializar esta información con los productores, se utilizó información climatológica de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2018). A partir de la base climatológica del Monitor Global de Sequía (Vicente-Serrano et. al., 2010) se construyó el índice estandarizado de precipitación-evapotranspiración (SPEI, escala temporal 12 meses) en una serie de tiempo de 68 años (1950-2018). Su cálculo se realizó ajustando la serie de precipitación e incorporando el efecto de la evapotranspiración a la escala de 12 meses, utilizando como valor de entrada el balance hídrico (precipitación - evapotranspiración).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad Pluviométrica Media Mensual, periodo 1950-2018

Las comunidades de El Mentidero, El Chacalito, Ayuquila y La Puerta del Barro están altamente expuestas a la variabilidad climática. Así lo demuestra la serie temporal del Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI), con periodos secos considerables en los últimos 30 años. Los años 2016-18 fueron periodos muy secos (SPEI -0.71 a -1.22). Los años 1994-95 se registraron los valores más bajos en el SPEI (<-2.21) con valores extremadamente bajos de precipitación (< 720 mm), siendo el periodo 2001-05 los años que presentaron mayor sequía prolongada (Fig. 1). Con respecto a las lluvias extremas (SPEI >1.75), se observa que los excesos de humedad estuvieron presentes en los periodos 1954-56, 1964-66, 1976, 1981-84. En estos años, los registros climatológicos reportan precipitaciones medias anuales por encima de los 1,100 mm, esto se tradujo en inundaciones de los terrenos agrícolas, debido a las características fisiográficas que presenta la región. Igualmente, en los años 1991-94, 2003-04 se registraron severas entradas de humedad (SPEI, 1.25 a 1.65).

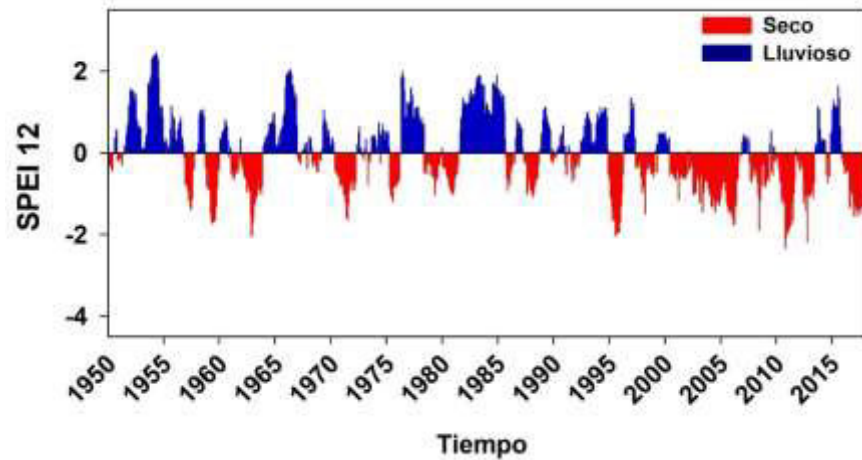


Figura 1. Variación temporal del índice de Precipitación-Evaporación Estandarizada (SPEI, siglas en inglés) para el periodo 1950-2018.

El promedio anual histórico (1950-2018) de precipitación para el paisaje rural de estudio es de 948.6 mm, mientras que en el periodo 2000-2018 la precipitación media anual ha disminuido en un 11.9% respecto a la histórica (Fig. 2). Ello se ha reflejado en una reducción de la precipitación en los meses de marzo-mayo, julio, septiembre y noviembre (-30 a -85 mm) y un desfase del inicio del temporal de lluvias de hasta 27 días (Fig. 2). Esto ha implicado inicios del periodo de lluvias a finales de junio e inicios de julio, aproximadamente. En 44% de los años registrados en la serie temporal SPEI, las lluvias se sitúan por debajo del promedio mensual histórico y en 23% muy cerca de lo normal (SPEI, -0.99 a 0.99). Las variaciones tan extremas (años secos seguidos por años húmedos) implican la necesidad de realizar predicciones certeras, con tal de planear y realizar las adaptaciones mencionadas.

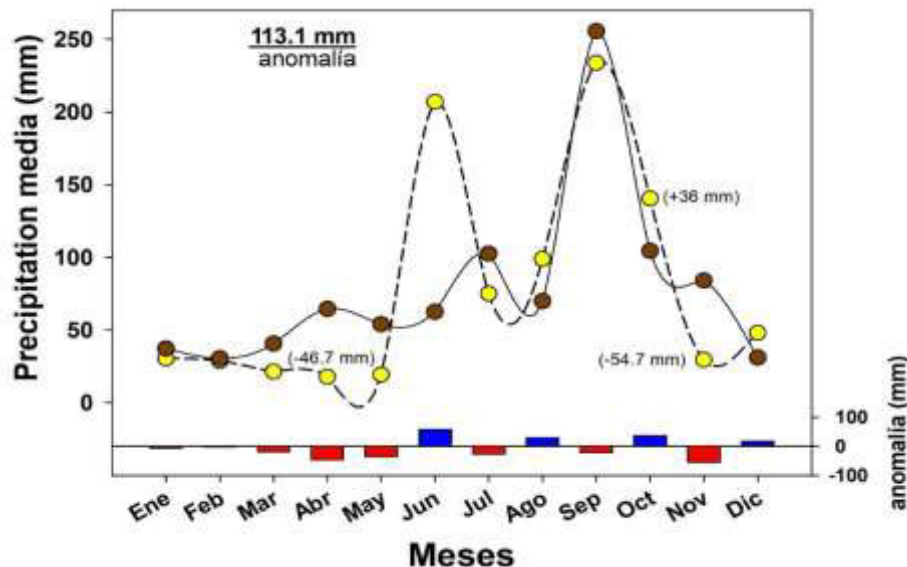


Figura 2. Precipitación media mensual y variación en la anomalía histórica para el periodo 1950-2018. Los puntos en color muestran los valores de precipitación histórica y en color amarillo la precipitación de los últimos 18 años.

Medios de vida

El retardo de las temporadas de lluvia, las sequías prolongadas, el deterioro de los suelos, la reducción del número de especies y variedades, el aumento de la temperatura, la mayor incidencia de plagas y enfermedades, y la reducción de los rendimientos de los cultivos son algunas de las evidencias por las que los actores locales se dan cuenta de que el CC afecta sus actividades productivas y pone en peligro sus medios de vida y la permanencia en las comunidades rurales.

La erosión y pérdida de calidad de los suelos se ha agudizado en los últimos años, debido principalmente a acciones tales como la deforestación, la ampliación de la frontera agropecuaria y la aplicación imprudente de insumos químicos (Corral, et. al. 2000). La deforestación ha conducido a una variabilidad microclimática, con frecuentes días más calurosos y menos húmedos que antaño, cambios en los patrones de lluvias y de temperaturas y otros eventos. Estos cambios han quedado registrados en la memoria de las familias que practican la agricultura. Cabe mencionar, que, en el paisaje rural de El Grullo-Autlán, el cambio climático no es percibido en términos de grandes catástrofes, sino más bien como una creciente incertidumbre: algunos años llegan con excesivas lluvias (1980-85), mientras que otros son muy secos (1995, 2010, Fig. 1), con una gran irregularidad entre los meses lluviosos (Fig. 2).

Capacidad adaptativa en la parcela y sus saberes contemporáneos

De la superficie sembrada de maíz en las comunidades, el 70% se siembra en el ciclo de temporal de junio en adelante y el 30% se siembra en el ciclo de milpa de aprovechando la humedad residual del suelo y las lluvias ocasionales (Fig. 3).



Figura 3. Parcela Milpa. En ella se observa una variedad de elementos agrícolas intercalados que forman parte de la dieta de los integrantes de la familia. Como meso cultivo se tiene presente el maíz; como soto cultivo se observa la calabaza, el frijol de enredadera, rábanos y algunos quelites. La parcela se encuentra bordeada por árboles frutales y de cortina rompe viento (epicultivos).

Los agricultores familiares afirman que el clima ha sido muy cambiante en los últimos 25 años, lo que amenaza la producción agrícola y pecuaria de la regional. Las familias de la región tienen registro de dos fuertes sequías, una en el 1995 y otra a inicios del 2000, que duró de tres a cuatro años (2000-05, Fig. 1). Se menciona que en estos años a varios campesinos y productores se les vino abajo la cosecha de los cultivos de temporal, y la cosecha del maíz tampoco se pudo salvar. Durante la sequía la falta de humedad impidió la germinación de las semillas y el brote de plagas y enfermedades comenzó a generar problemas en los años siguientes. *“En algunas parcelas de traspatio, con cobertura arbórea que contribuía a conservar la humedad del suelo, la milpa de octubre sufrió mucho menos el déficit de agua que en las parcelas de menor cobertura, donde en muchos casos las cosechas fueron mínimas, familia Díaz (La puerta del Barro)”*.

Los agricultores familiares mencionan que, ante estas amenazas para sus medios de vida, cuando pronostican años secos (cabañuelas; tradiciones populares), combinan maíz criollo con maíz enano o/y noventeno, reducen el área sembrada y aplazan la fecha de siembra de Mayo a Junio o Julio, como adaptaciones a las condiciones climáticas. Los campesinos dependen en gran medida, de sus recursos genéticos regionales y locales (Fig. 4) basados en su capacidad adaptativa, la cual se basa en el conocimiento acumulado, creencias y plasmado en sus sistemas actuales de producción.

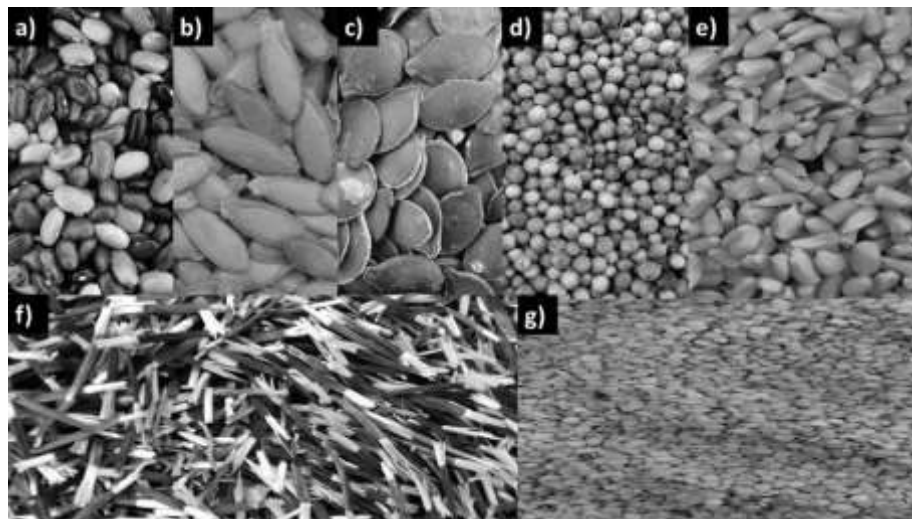


Figura 4. Recursos genéticos presentes en las parcelas milpa de las familias; a) frijoles; b) calabaza de castillas; c) chilacayote; d) cilantro; e) maíz cónico; f) crisantemos o compasúchil; g) tomate de cascara.

En el periodo 2015-17, de dos años consecutivos secos, tres de las cuatro familias sembraron menores superficies de maíz, escogieron sembrar en mayor medida el maíz de ciclo corto y además atrasaron 45 días la siembra de la milpa de octubre. Como consecuencia, si bien cosecharon menos maíz en comparación a los años anteriores, si lograron rendimientos que cubrieron sus necesidades de autoconsumo y complementar la dieta. Estas adaptaciones son una respuesta a la incertidumbre climática en la que están inmersos, y les han permitido ser resilientes antes los impactos



CONCLUSIONES

Los agricultores familiares están interesados en adaptar sus sistemas agrícolas de manera versátil de tal manera que puedan asegurar una producción suficiente en cualquier condición climática; están buscando flexibilidad en sus sistemas de cultivo. La producción mermada ante el cumulo de problemas y el cambio climático con lluvias excesivas 2013-14 y falta de lluvias en otros años, han motivado a varios campesinos a cambiar de sistemas de producción.

Las 4 familias opinan que la problemática señalada, en sus parcelas se debe a las siguientes causas:

- Fenómenos hidrometeorológicos, como el retraso o adelanto de las lluvias.
- Baja fertilidad de los suelos, debido al uso intensivo, el uso de fertilizantes químicos y pesticidas.
- Manejo deficiente de los residuos orgánicos (restos de cosechas).
- Uso de especies y variedades de plantas agotadoras de la fertilidad del suelo.
- Poca diversidad de cultivos (agrobiodiversidad) y escasez de árboles en sus parcelas.
- Pérdida de saberes, particularmente con respecto a la predicción climática y la producción agroecológica (acondicionadores orgánicos y preparados).
- Aumento de la incidencia de plagas y enfermedades por el CC.

Las familias agricultoras han mencionado que una de las alternativas para mitigar el efecto negativo del CC sobre la agricultura y al mismo tiempo disminuir su impacto en el clima, podría ser la adopción de prácticas agroecológicas, las cuales se basan en el uso de productos naturales y conocimientos locales. Los agricultores familiares mencionan las siguientes principales prácticas: i. conservación de suelos; ii. mantener una alta agrobiodiversidad iii. rotación y asociación de cultivos; iv. manejo integrado de plagas y enfermedades; v. retención de humedad en el suelo. Por ejemplo, la elaboración de composta, bocashi y la aplicación de lixiviados orgánicos aumentará la fertilidad de los suelos y su actividad microbiana, al mismo tiempo que permite disminuir el uso de fertilizantes químicos.

LITERATURA CITADA

- IPCC. 2014. Climate Change: Impacts, Adaptation, y Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 688 pp.
- Manzo, Fernando y López, Gabriela. 2013. "Familia, producción y rentabilidad: agroindustria familiar rural de los productores de amaranto en México". Leisa revista de Agroecología. Volumen 29 n°4, Lima, Perú.
- Martínez-Torres, M. E., y Rosset, P. M. 2014. Diálogo de saberes in La Vía Campesina: food sovereignty and agroecology. Journal of Peasant Studies, 41(6), 979–997.
- Rawal, V., Kumar, M., Verma, A., & Pais, J. 2020. COVID-19 Lockdown: Impact on Agriculture and Rural Economy. Society for Social and Economic Research.
- Zimmerer, K. S. 2014. Conserving agrobiodiversity amid global change, migration, and nontraditional livelihood networks: The dynamic uses of cultural landscape knowledge. Ecology and Society, 19(2): 1.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- UDG, 2019. <http://www.cucba.udg.mx/noticia/golpeo-cambio-climatico-jalisco-durante-2019/> (consultado el 03 de marzo de 2021)
- FAO, 2018, 20 acciones para Transformar la Alimentación y la Agricultura: Una nueva herramienta de la FAO aporta formas concretas de acelerar la implementación de la Agenda para el Desarrollo Sostenible, <http://www.fao.org/news/story/es/item/1139548/icode/> (consultado 14 de mayo de 2021).



EFFECTO DE ABONOS ORGANICOS Y DE SU COMBINACIÓN CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN JALISCO, MÉXICO.

EFFECT OF ORGANIC FERTILIZERS AND ITS COMBINATION WITH CHEMICAL FERTILIZATION ON THE YIELD OF CORN IN JALISCO, MEXICO.

¹Díaz Mederos P., ¹Pérez Domínguez JF., ¹Ireta Moreno J, ¹Villarreal Rodas J H y ¹Arias Chávez L E

¹Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CIRPAC) del INIFAP. Av. Biodiversidad #2470 Col. Centro C. P. 47600 Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.
Autor para correspondencia: diaz.primitivo@inifap.gob.mx

RESUMEN

En México está generalizado el uso de agroinsumos químicos, esto ha ocasionado abusos en su aplicación, con las consecuencias de altos niveles de contaminación de suelo y mantos freáticos. El uso de mejoradores como vermicomposta, humus, compostas, etc. pueden ser una alternativa viable en algunas regiones agrícolas de México. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y su comparación con fertilizantes químicos en el rendimiento de grano y de grano mas forraje de maíz. Fueron cuantificadas tres variables: sanidad del grano/tratamiento, rendimiento de grano y rendimiento de grano mas follaje por hectárea, en un diseño bloques completos al azar. Se probaron 15 tratamientos, que incluyen lixiviado de lombriz, humus y composta del INIFAP, composta comercial en tres presentaciones y tres productos líquidos comerciales; así como el tratamiento sugerido por el INIFAP para la región; Los resultados mostraron diferencias significativa entre tratamientos en cuanto a rendimiento de grano y grano mas forraje; en cuanto a sanidad de mazrcas no hubo diferencia significativa. Con la aplicación de fertilizantes orgánicos se mantuvo el nivel de rendimiento de grano y forraje an nivel que el tratamiento con fertilizante químico sugerido por el INIFAP, lo cual permite sugerir, con base en datos de campo la reducción de uso de agroquímicos en la producción de maíz.

Palabras clave: *vermicomposta, lixiviado, humus, maíz, fertilizantes orgánicos*

INTRODUCCIÓN.

En México en el 2017 se sembraron poco más de 7.6 millones de hectáreas de maíz con rendimiento promedio de 3.48 ton/ha. y el estado de Jalisco participó con 7.09 % de la superficie de siembra con rendimiento promedio de 6.38 ton/ha (SIAP-SAGARPA, 2017). Por otro lado, la parte de la dieta energética de la población mexicana suministrada con productos vegetales *per cápita* fue de 2,443 Kcal/día, de la cual maíz proporcionó más del 40% del consumo diario (Gobierno de México, 2021). Estas cifras sitúan al maíz como el principal cultivo en la seguridad alimentaria en las escalas mundial, nacional y estatal con referencia a Jalisco.

Con el aumento de la intensidad en el uso de la tierra y los cambios de uso del suelo con cultivos inadecuados al sitio de producción, ha tenido como resultado la degradación del suelo con la consecuente pérdida de productividad y fertilidad edáfica, aumento en la compactación del suelo, la erosión hídrica y el escurrimiento superficial, son causas de la reducción de los rendimientos de cultivos. Estos problemas repercuten en aumento en los costos de producción por efecto de los insumos agrícolas, particularmente de fertilizantes (Soltero, *et, al* 2004.), escasez de agua para riego asociada a la variabilidad de la lluvia en tiempo espacio y baja eficiencia en la utilización de insumos agrícolas (Shepard, 2000), con probable intensificación de efectos negativos por el cambio climático global . Las recomendaciones técnicas del paquete tecnológico son fundamentales para que el productor logre una mayor producción. Considerando que uno de los insumos de mayor costo y grado de contaminación ambiental son los fertilizantes químicos, es evidente que cualquier iniciativa que permita producir con un menor uso este tipo de insumos sin disminuir los rendimientos unitarios, contribuye a reducir la



contaminación ambiental mejora la fertilidad de suelo y hace más eficiente el cultivo (Soltero *et al.* 2011).

La aplicación de materia orgánica aumenta la actividad de las fosfatasas al estimular la biomasa microbiana y la secreción de las raíces (Deng y Tabatabai, 1997; Purakayastha *et al.*, 2006). En México, prácticamente el 80% de la superficie agrícola se fertiliza en diversas dosificaciones, dependiendo de la capacidad del productor y se aplica sin el menor rigor técnico, lo que ha generado que se apliquen cantidades excesivas de fertilizantes en los cultivos de México (Grajeda-Cabrera *et al.*, 2012).

Debido a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes químicos-orgánicos en el rendimiento de grano forraje de maíz de temporal y contar con información actualizada que permita conocer la efectividad de este tipo de insumos que cada vez se comercializan con mayor intensidad en la producción de alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la localidad experimental. El ensayo fue establecido en el verano de 2018, en terrenos del Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, que se ubica a 1795 msnm en el municipio de Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El clima es Subtrópico subhúmedo semiseco, semicálido, con invierno benigno (Ruiz *et al.*, 2007). La temperatura media anual es de 19°C, con máxima de 30.5°C y mínima de 7.6°C. El régimen de lluvias se registra entre los meses de junio, julio y agosto contando con una precipitación media anual de 874.7 mm. El suelo donde fue sembrado el experimento es considerado como luvisol férrico según la clasificación de la FAO, arcilloso, rojo y con profundidad mayor a 1.0 m. de fisiografía plana y representativo de la parte más húmeda de la región Altos de Jalisco.

Fueron evaluados tratamientos de fertilización químico-orgánicos del INIFAP y productos comerciales que son utilizados de manera generalizada en la región. Una breve descripción de dichos productos se describe a continuación:

Tratamientos del INIFAP: Tratamiento General de fertilización química sugerido por el inifap que fue utilizado como referencia; Lixiviado de lombriz, Humus de lombriz y Composta de borrego que fueron elaborados por investigadores del Campo Experimental como parte de los productos obtenidos del Módulo pecuario.

Tratamientos comerciales: Dos productos identificados como abonos granulados cuyo contenido se basa en elementos mayores (N-P₂O₅, K₂O) menores (Ca, Mg, S, Mn, Fe, Zn, Cu.). Dos tratamientos químico-orgánicos-biológicos en presentación líquida identificados, en la descripción, como **NB** cuyo análisis presenta los elementos N-P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, y M.O, así como otros microbios (bacterias, hongos y levaduras). Dos tratamientos más identificados como **EG**, que en su etiqueta muestran que contienen los elementos mayores y menores descritos, solamente en proporciones diferentes, además de Aminoácidos. Dos tratamientos identificados como **SS** que también contienen elementos mayores y menores así como ácidos orgánicos. Los productos fueron aplicados como lo recomienda la etiqueta tanto en dosis como en época y forma de aplicación. Además de los tratamientos con fertilizantes se incluyó un tratamiento adicional con otra variedad de maíz. En total fueron 15 tratamientos.

La lista completa de tratamientos se desglosan en el cuadro 1. Se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones, cada unidad experimental tuvo 4 surcos de 6 m de longitud y separación entre sí de 0.80 m. La parcela útil fue de dos surcos centrales lo cual generó una superficie de 9.6 m²; se tuvo una densidad de 65 mil plantas ha⁻¹.



Cuadro 1, Tratamientos de fertilización químico-orgánico-biológicos probados en maíz de temporal. Ciclo PV-2018, C. E, Centro-Altos de Jalisco.

No	TRA N-P-K	COMPLEMENTO ORGANICO	DESGLOSE DEL TRATAMIENTO
1	240- 69-0	50-69 0,S+ 95N V4-V6; 95N V8-V9	INIFAP
2	165- 69- 0	50-69-0,S+ 115N V4-V6 + Lixiviado de lombriz	Lixiviado de Lombriz 5.0 L en 200 l de agua en etapa intermedia V4-V5 + Lixiviado de Lombriz 5.0 L en 200 l de agua en etapa Hoja bandera.
3	165- 69- 0	50-69-0, S+ 115N V4-V6 + humus INIFAP	Humus de Lombriz 500 Kg por ha. 300 Siembra y 225 Kg en etapa intermedia V4-V5
4	95-00	Composta INIFAP + 95 N	Composta borrego 600 Kg por ha + Lixiviado de Lombriz 5.0 L en 200 l de agua en etapa Hoja bandera
5	138-00-	“Composta comercial 1.Gr” 400 Kg/ha S.	2.0 L/ha V4 + 138N (300 Kg Urea) +4.0 L/ha a los 20 días
6	138-00	“Composta comercial 2 Gr.” 400 KG/ha S	2.0 L/ha V4 + 138N (300 Kg Urea) +4.0 L/ha a los 20 días
7	188-69-00	50-69-0, S+ composta comercial “L”	2.0 L/ha V2-V3 + 138N (300 Kg Urea) +4.0 L/ha
8	50-69-00	50-69- 0, S+ NB G.+ F	NB 2M3/ha Germinación + F oliar V4-V5
9	00. 00	N B L-55 2M3/HA	NB 2M3/ha Germinación + Foliar V4-V5
10	145-69	50-69-00 S+ 95 N V4-V6	SS 2 L./ha. Foliar V4-V6
11	50-69	50-69-0,S	SS 2 L./ha. Foliar V4-V6
12	00-00	Testigo absoluto	Sin fertilizante
13	145-69	50-69- 0, S + 95N V9	EG 2.L/ha V4-V6 en V9
14	50-69	50-69-00, S	
15	165-69	50-69-0, S + 95N V4-V6; 95N V8-V9	Otra Variedad (H-377)

Abreviaturas: N: Nitrógeno; S: Siembra; V: Etapa vegetativa; NB, SS, EG: Productos comerciales.

Para determinar el rendimiento de grano se cosecharon las mazorcas correspondientes a los dos surcos centrales de la parcela útil; fueron desgranados y se procedió a determinar el peso de grano por hectárea ajustado al 14 % de humedad de acuerdo a la metodología propuesta por Ron-Parra y Ramírez-Díaz, 1991). El rendimiento de grano mas follaje fue determinado aplicando la metodología de Ron-Parra y Ramírez-Díaz,1991) mas el peso seco del resto de la biomasa de las plantas en la parcela útil.

Se realizó Análisis de Varianza (ANDEVA) para las variables estudiadas el rendimiento ó dependientes de los factores en estudio utilizando el software estadístico SAS® (SAS Institute, 2004). Cuando el análisis de varianza indicó diferencias entre tratamientos, fue aplicado un análisis de los resultados mediante una comparación de medias entre tratamientos, fue utilizada. La Separación de medias fue realizada de acuerdo a la prueba de LSD (P<0.05).

Manejo agronómico

La preparación del terreno fue: un subsoleo, dos pasos de rastra y surcado a 0.80 m.

Fecha de siembra. La siembra se realizó el 17 de Junio de 2018.

Fue utilizado un híbrido de maíz de ciclo intermedio precoz, el híbrido N83N5 de una empresa comercial.

Los tratamientos de fertilización se especifican en el cuadro 1.



Las plagas de raíz (*Phyllophaga ravida* Blanch y *Diabrotica virgifera zea* Krysan and Smith) fueron controladas con aplicación de Clorpirifos etyl (Lorsban) 5% G[®] de 20 kg ha⁻¹ en siembra. Como plaga del follaje se presentó de manera muy intensa el Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith) durante la emergencia del cultivo. Se aplicaron insecticidas como clorpirifos etyl (lorsban) 480[®] E. 0.5 l/ha. Lambda Cihalotrina (Karate Zeon) 1.25 l/ha y posteriormente esfenvalerato[®] a dosis de 0.3 l/ha.

El control de maleza, fue realizado de la siguiente forma: Se aplicó en preemergencia una mezcla herbicida atrazina +metholaclor (Primagram Gold[®]) 3.0 l/ha. En post-emergencia; a los 10 días de la germinación se aplicó el herbicida Tropamezone (convey[®]) en dosis de 250cc/ha. A los 30 días de la germinación se aplicó dicamba + atrazina (Stratus[®]) en dosis d 1.8 l/ha.con estos tratamientos se tuvo un control de maleza adecuado.

Otras prácticas como limpias adicionales se realizaron al total del experimento con la finalidad de mantenerlo presentable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En términos generales, las condiciones agroclimáticas prevalecientes durante el desarrollo del Experimento, así como el manejo del mismo por el personal técnico se consideran que fueron aceptables. Se tuvo una precipitación acumulada durante el ciclo de desarrollo del cultivo de 1150 mm.

Los resultados obtenidos se presentan en el mismo orden que fueron tomadas las variables medidas todas relacionadas con el producto final que es el rendimiento.

La germinación del cultivo en el total de tratamientos, ocurrió el mismo día 26 de Junio, se contabilizó el 95% de las plantas nacidas es decir no hubo diferencia entre tratamientos, en el tiempo de emergencia del cultivo.

En el cuadro 2 se presenta los análisis de Varianza para las variables estudiadas.

Cuadro 2. Parámetros del análisis de varianza para las variables estudiadas.

Variable	C.V.%	Pr > F	SIG
Mazorcas enfermas/ tratamiento	52.0	0.32	ns
Rendimiento de grano (ton ha ⁻¹)	10.03	0.55	*
Rendimiento de Grano y Forraje (ton ha ⁻¹)	9.54	0001	**

En la variable número de mazorcas enfermas por tratamiento, el análisis de varianza mostró que no hubo diferencia significativa entre tratamientos; los valores mínimos fueron 6 mazorcas enfermas y el máximo valor fue 11 mazorcas enfermas/ unidad experimental.

En la variable rendimiento de grano por hectárea, el análisis de varianza indicó que hubo diferencia significativa entre tratamientos El testigo tuvo el rendimiento mas bajo y fue diferente estadísticamente a los tratamientos 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10 que fueron los tratamientos con lixiviado de lombriz, Humus INIFAP, composta comercial y dosis de fertilizante químico aplicadas al inicio. El valor de 10% del CV, indica el control ambiental en el experimento. El lixiviado de lombriz, el humus y las compostas (comercial y de INIFAP) contiene nitrógeno en alto porcentaje (Mendez-Guzman, 2015), por lo que esos tratamientos estuvieron entre los de mayor rendimiento de grano.

En rendimiento de grano y forraje por hectárea, el análisis de varianza indicó que hubo diferencia significativa al 0.01% de error. El coeficiente de variación de 9.54% indica la confiabilidad de los datos. El tratamiento con mayor valor fue el de aplicación de la dosis recomendada de fertilización química aplicada a la siembra, mas una aplicación de 96 unidades de nitrógeno cuando el cultivo tiene de 4 a 6 hojas mas una tercera aplicación de 96 unidades de nitrógeno cuando hay de 8 a 10 hojas; sin embargo



no fue diferente estadísticamente a la gran mayoría de los tratamientos excepto el testigo absoluto y al 14 que sola, ente de tuvo una aplicación de fertilizante. Sin orgánicos.

Cuadro 3. Comparación de medias de los tratamientos de fertilización; ciclo P-V 2019 C. E. Centro-Altos de Jalisco INIFAP.CIRPAC.

	TRATAMIENTO	MZENF/ Trat	RG Ton/ha	RF+G Ton/ha
1	50-69-S+ 95N V4-V6; 95N V8-V9	9abc	10.35ab	18.85bcd
2	50-69-S+ 115N V4-V6 + LIXIVIADO DE LOMBRIZ	6bcd	10.43ab	18.32bcd
3	50-69-S+ 115N V4-V6 + HUMUS INIFAP	9ab	10.45a	17.85bcd
4	Composta INIFAP	9ab	9.80abc	17.22bcd
5	Composta comercial "abonasa G.MF" 400 KG/HA S.	6bcd	10.23ab	18.72bcd
6	Composta comercial "abonasa reforzada" 400 KG/HA S	11 ^a	10.14ab	17.55bcd
7	50-69- + composta comercial "abonasa L Acido" + 138N	9abc	9.70abc	18.20bcd
8	50-69- N B	5cd	10.13ab	17.60bcd
9	N B L-55 2M3/HA	4d	9.88abc	16.60de
10	50-69-S+ 95 N V4-V6	7abcd	10.20ab	16.65de
11	50-69-S+ V4-V6	6bcd	9.37abc	16.80cd
12	Testigo absoluto	6abcd	8.80c	14.75e
13	50-69 + 95N V9	7abcd	9.72abc	17.75bcd
14	50-69-00	6bcd	9.25bc	16.95bcd
15	50-69-S+ 95N V4-V6; 95N V8-V9	6bcd	9.65abc	23.12 a
	MEDIA	7Mz	9.87 Ton	17.79 Ton
	LSD 0.1	4.2	2.3	2.01

MZENF/Trat=Mazorcas enfermas por tratamiento; RG= Rendimiento de grano en toneladas por hectárea; RgyF= Rendimiento de grano y Forraje en Toneladas por hectárea

Del análisis de resultados se deduce que la media de rendimiento de los tratamientos en general fue aceptable (9.87 ton/ha), el Híbrido de la empresa Syngenta N83N5[®] mostró una excelente adaptación a las condiciones ambientales en el experimento.

Como es normal al aplicar por primera vez los mejoradores orgánicos en un suelo, los resultados pueden no resultar espectaculares al inicio, ya que se requiere tiempo para inducir al establecimiento de flora microbiana benéfica que permita restituir la fertilidad en el suelo y con ello incrementar los rendimientos, pero esto es una meta que se puede lograr en el mediano plazo, de dos a tres ciclos (Soto y Melendez, 2004; Zermeño-Grajales, *et al.* 2015). Los tratamientos que involucraron lixiviado de lombriz, humus y composta, tanto de INIFAP como comerciales, estuvieron entre los tratamientos con mas alto rendimiento, estadísticamente iguales a los mejores tratamientos de fertilización química, posiblemente por los niveles de nitrógeno, el cual tiene nivel alto en compostas, vermicompostas, humus y otros abonos orgánicos (Sanchez, *et al.* 2005).

Los resultados del efecto de los tratamientos con abonos orgánicos en rendimiento de grano y rendimiento de grano mas follaje fueron iguales al tratamiento de fertilización química recomendado por el INIFAP, demuestran la hipótesis de que el uso de productos alternativos de origen orgánico permite



reducir las aplicaciones de fertilizantes químicos sin afectar el rendimiento. Esto tiene beneficios ya conocidos como que puede aportar a reducir el uso de fertilizantes químicos y sustituir por productos de origen orgánico (Johnson y Rasmann, 2015; Canseco-Martínez, 2020) como los probados en el presente ensayo.

CONCLUSIONES:

De acuerdo a los resultados del trabajo, los fertilizantes de origen orgánico y microbiológico probados permitieron comprobar que el uso de estos productos pueden sustituir a los químicos sin que el rendimiento de grano y grano mas forraje se vea afectado en comparación con lo obtenido con el rendimiento del tratamiento de fertilización química sugerido por el INIFAP en la región.

LITERATURA CITADA

- Canseco-Martínez, D.A., Villegas-Aparicio, Y., Castañeda-Hidalgo, E., Carrillo-Rodríguez, J.C., Robles C., Santiago-Martínez, G.M., 2020. Respuesta de *Coffea arabica* L. a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(6): 1285-1298.
- Deng, S. P., and M. A. Tabatabai. 1997. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biology Fertility Soils*. 24:141–146.
- Gobierno de México. Secretaría de Salud. 2021 Tendencias de la nutrición en México. <https://www.insp.mx/avisos/4746-tendencias-nutricion.html>. Consultado: 10 de julio 2021.
- Grajeda-Cabrera A., Díaz-Franco A., Peña-Cabriales J.J. y Vera-Núñez J.A. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(6): 1261-1274.
- Johnson, S. N. and Rasmann. S., 2015. Root feeding insects and their interactions with organisms in the rhizosphere. *Annual Review of Entomology* 60: 517-535.
- Mendez-Guzman, Y.C., 2015. Evaluación del efecto de tres abonos orgánicos en el rendimiento de flores de *Calendula officinalis* L. Tesis de Biólogo. Facultad de estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 73 p.
- Purakayastha, T. J., Bhadraray, S., Chhonkar, P.K., and Verma, V., 2006. Microbial biomass phosphorus and alkaline phosphomonoesterase activity in the rhizosphere of different wheat cultivars as influenced by inorganic phosphorus and farmyard manure. *Biol. Fertility Soils* 43: 153-161.
- Ron-Parra, J. y Ramírez-Díaz, J.L. 1991. Establecimiento de ensayos y colección de datos para evaluación de variedades mejoradas de maíz del CCVP en el estado de Jalisco. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Zapopan, Jal. México Tema didáctico No. 1. 20 p.
- SAS Institute, 2004. SAS 9.1.2 User's guide, SAS Institute, Cary, NC.
- SIAP-SAGARPA 2017. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la producción agrícola por cultivo. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Jalisco-Infografia-Agroalimentaria-2019 .Consultado el 20 septiembre del 2018.
- Sanchez E, Rodríguez H, Carballo C, Milanes M, 2005. Influencia de los abonos orgánicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* y *Matricaria recutita*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 10: 1. La Habana, cuba.
- Shepard, R., 2000. Nitrogen and phosphorus management on Wisconsin farms: lessons learned for agricultural water quality programs. *Journal of Soil and Water Cons.*, 56(1):63-68.
- Soltero D. L., Pérez Domínguez J.F., Medina-Ocegueda S. y Ramírez-Díaz J.L. 2004. Tecnología de producción de maíz en la región Ciénega de Chapala. Folleto técnico Núm. 1. Tepatitlan, de Morelos, Jalisco.
- Soltero-Díaz, L., Ramírez-Díaz, J.L., Flores L., H.E., Pérez-Domínguez, J.F., Ruiz-Corral, J.M., y Chuela-Bonaparte, M., 2011. Guía para producir maíz en la región Ciénega de Chapala. Folleto Técnico. No. 10. Jalisco: CIRPAC-INIFAP.
- Soto. G. y Melendez G. 2004. Como medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 72: 91-97. San José. Costa Rica.
- Zermeño-Gajales A, Cárdenas-Palomo JO, Ramírez-Rodríguez H, Benavides-Mendoza A, Cadena-Zapata M, Campos-Magaña SG, 2015. Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista Mexicana de ciencias Agrícolas. Publ. Esp.* 12: 2399-2408.



EFFECTO DE INSECTICIDAS BIORACIONALES, MICROBIANOS Y QUIMICOS EN LA MORTALIDAD DE PARATRIOZA (*Bactericera cockerelli*) EN JITOMATE SALADETTE.

EFFECT OF BIORRATIONAL, MICROBIAL AND CHEMICAL INSECTICIDES ON THE MORTALITY OF PARATRIOZA (*Bactericera cockerelli*) IN SALADETTE TOMATO.

¹Pérez Domínguez JF, ¹Díaz Mederos P, ¹Ireta Moreno J

¹Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CIRPAC) del INIFAP. Av. Biodiversidad #2470 Col. Centro C. P. 47600 Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: perez.juanfrancisco@inifap.gob.mx

RESUMEN

La paratrioza *Bactericera cockerelli* Sulc. Tiene gran importancia económica como vector de enfermedades virales en hortalizas en Jalisco. El objetivo del presente estudio fue analizar la mortalidad ocasionada por diversos tratamientos bioracionales, microbianos y químicos, para el adecuado manejo de paratrioza *Bactericera cockerelli* Sulc. Se analiza la mortalidad ocasionada por cada tratamiento, así como la efectividad de cada uno de estos tratamientos. Los resultados indican que la efectividad de los tratamientos fue muy variable entre fechas de aplicación y entre estados de desarrollo de la plaga, algunos tratamientos tienen un marcado efecto ovicida, otros son más efectivos con ninfas, otras más con adultos. Los resultados mostrados permiten hacer aplicaciones en forma secuenciada de nim o insecticidas biológicos antes de aplicar insecticidas químicos.

Palabras Clave: insectos vectores, hortalizas, muestreo, control.

INTRODUCCION

La región de la Ciénega de Chapala, en Jalisco y Michoacán, comprende un área importante para la producción hortícola sembrando durante el ciclo de otoño-invierno aproximadamente 3000 hectáreas, siendo los cultivos más importantes; jitomate, tomate verde y chile, entre otros (Almaguer-Vargas *et al.*, 2009). En la región se tiene tres climas predominantes; semicálido, templado subhúmedo, y templado húmedo con alturas sobre el nivel del mar desde 1517 a 1700 metros. Los suelos son en su mayoría vertisoles pélicos.

Los insectos vectores de enfermedades virales (mosquita blanca, salerillo o paratrioza, áfidos y chicharritas) representan uno de los principales problemas entomológicos en la agricultura. Aunque estos insectos producen daño directo a las plantas, el principal daño es por transmisión de diversas enfermedades virales en una gran variedad de plantas cultivables, de las cuales destacan las hortalizas (Smith 2020; Srinivasan, *et al.* 2012).

El objetivo del presente estudio fue analizar la mortalidad ocasionada por diversos tratamientos bioracionales, microbianos y químicos, para el adecuado manejo de paratrioza *Bactericera cockerelli* Sulc.

MATERIALES Y METODOS.

El estudio se realizó durante el ciclo de cultivo Primavera-verano (2017), en cultivo de jitomate. En la localidad La Concepción, municipio de Ayotlán, Jalisco, con el productor: Sr. Luis García.

Se realizó muestreos iniciales en diversas parcelas para tener información inicial de los sitios de evaluación. Para establecer el experimento fue seleccionada la parcela que presentó uniformidad en las poblaciones de insectos vectores y con promedios mayores a 5 insectos adultos por planta o 10 inmaduros por planta al momento del muestreo.

Fue realizada una prueba de campo, para evaluar la efectividad biológica de insecticidas químicos y bioracionales contra paratrioza en siembras de jitomate. Las evaluaciones de efectividad biológica fueron establecidas cuantificando variables del cultivo, de la plaga y del clima. Las variables cuantificadas fueron: el desarrollo fenológico de las plantas en los diferentes tratamientos, cantidad de insectos vivos por unidad experimental; con esa información fue calculada la mortalidad, comparando



la población encontrada en cada unidad experimental, con la población del testigo. Para el caso del presente reporte se analiza solo la mortalidad de huevos, ninfas y adultos. Las variables del clima fueron: temperatura y humedad ambiental, precipitación pluvial, entre otras.

Los datos tomados y la información recabada de todas las actividades fue analizada estadísticamente mediante análisis de varianza y separación de medias utilizando el paquete estadístico SAS ver. 9.3 (SAS, Institute, 2010) para los análisis requeridos. Se analizaron los datos para determinar diferencias estadísticas entre fechas de muestreo para cada una de las variables. Se realizó el análisis de la varianza y cuando hubo diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, fue aplicada la prueba de medias de DMS ($P \geq 0.05$) de probabilidad de error.

La unidad experimental donde se realizó la aplicación de cada tratamiento fue de 6 surcos de 1.20 metros de ancho por 20 metros de longitud. Se estableció un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las observaciones se realizaron solamente en el centro de la unidad experimental, constituida por los dos surcos centrales, excluyendo 4 plantas de los extremos.

El muestreo de adultos fue mediante el uso de charolas, consiste en usar charolas blancas plásticas de 25.4 x40.6cm, las cuales se impregnan con una capa delgada de aceite vegetal. En estas charolas se notan muy bien diferentes tipos de insectos de tamaño pequeño, especialmente las paratirozas adultas que son oscuras, amarillas o verdes. La charola fue colocada en sentido opuesto al viento y la planta fue golpeada suavemente con un palo para que los adultos vuelen hacia la bandeja, quedando de esta manera adheridos a la superficie de ésta (Pérez-Domínguez, *et al*, 2006).

El muestreo de estados inmaduros y huevecillos fue realizado mediante inspección de hojas, haciendo un muestreo visual de las hojas, permitiendo el conteo completo de los estados inmaduros de ambos insectos vectores debido a que huevecillos y ninfas de paratiroza permanecen adheridos a las plantas. (Pérez-Domínguez, *et al*, 2006).

En la fecha de la aplicación fue trazado el experimento y delimitadas las unidades experimentales, posteriormente se procedió a realizar el muestreo preliminar por unidad experimental para tener la referencia de la población inicial, este muestreo consistió en seleccionar 4 puntos en cada unidad experimental, dando 10 golpes por punto (un golpe por planta), lo que da un total de 40 plantas revisadas en cada unidad experimental. Posteriormente se procedió al conteo de los insectos capturados, después se realizó muestreo de hojas, tomando 5 hojas por unidad experimental, repitiendo esto por cada tratamiento, repetición y localidad, en seguida fue realizada la aplicación de los tratamientos. Las aplicaciones fueron hechas con una aspersora de motor Arimitzu con capacidad de 25 litros, cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones.

Se hicieron muestreos a las 24, 48 y 72 horas después de la aplicación. Los muestreos finalizaron al momento de que se perdió la protección de los productos utilizados, esto es cuando las poblaciones de insectos vectores se incrementaron demasiado en todos los tratamientos respecto del muestreo inicial, de tal manera que en las localidades se presentan datos de muestreo de 24 y 48 horas.

Cuadro 1.- Lista de Tratamientos utilizados en los experimentos.

No.	Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis/ha
1	Neemix	Extracto aceite de Nim 4.5%	0.750 lts
2	Sumi Alpha	Esfenvalerato	0.5 lts
3	Calypso	Thiacloprid 48%	0.250 lts
4	Talstar 100 CE	Bifentrina 10%	1.5 lts
5	Clutch	Clotianidin 23.6%	0.250 kg
6	Orthene Ultra	Acefate	0.5 kg
7	Trilogy	aceite de Nim 70%	2.0 lts
8	Tri-Sin	<i>Metarhizium, Beauveria y Paecilomyces</i>	2.0 lts
9	<i>B. bassiana cepa Col</i>	<i>Beauveria bassiana</i>	2.0 lts



10	Testigo	Sin Aplicación	-----
----	---------	----------------	-------

RESULTADOS Y DISCUSION

En la localidad de La Concepción se iniciaron las aplicaciones de insecticidas 15 días después del trasplante, por lo que solo se utilizaron los tratamientos a evaluar como insecticidas, en esta localidad durante el ciclo se realizaron 7 aplicaciones durante el ciclo.

La aplicación de los tratamientos fue el 9, 15, 22, 31 de agosto, 5 y 18 de septiembre.

Se presenta resultados del muestreo de huevecillos de paratrioza a los 24 horas (figura 1)

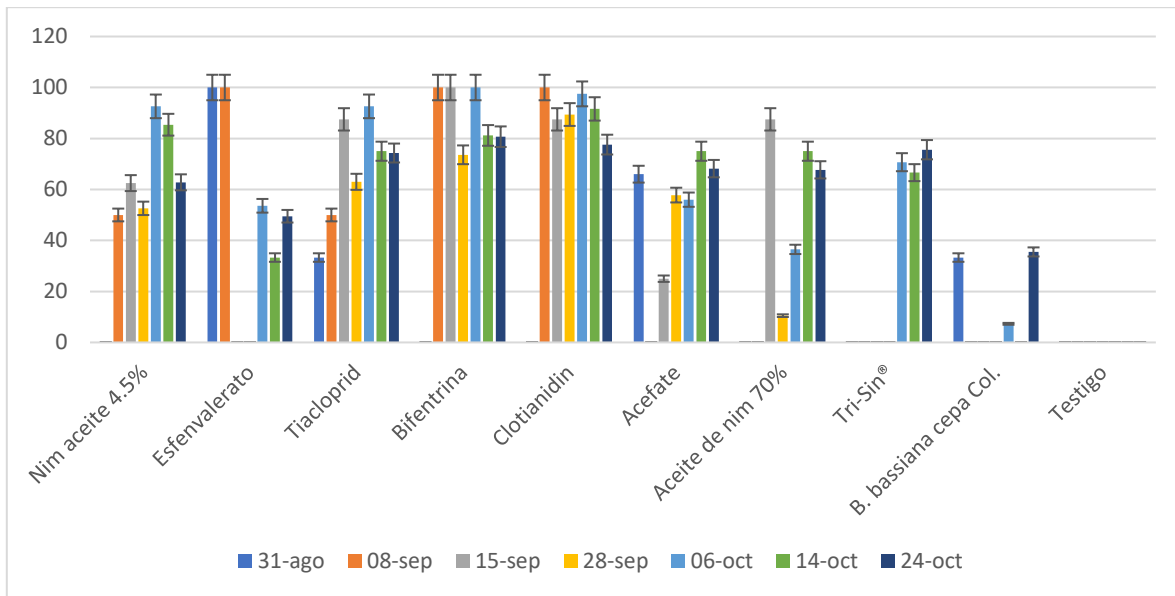


Figura 1.- Mortalidad en huevecillos de paratrioza 24 horas después de la aplicación. Cultivo: jitomate saladette. La Concepción, municipio de Ayotlan, Jalisco.

Entre los insecticidas químicos: esfenvalerato durante las dos primeras fechas de aplicación, bifentrina y clotianidin fueron los insecticidas que causaron la mayor mortalidad 24 horas después de la aplicación. El nim a 70% de concentración tuvo 90 % de mortalidad en una fecha, mientras que Tri- Sin alcanzó porcentajes entre 65 y 78 % de mortalidad.

Al realizar el muestreo para evaluar mortalidad en huevecillos a las 48 horas después de la aplicación, se observó el incremento de la mortalidad, siendo éste el período en donde se presentaron los mayores porcentajes de esta variable analizada (figura 2).

El nim en concentración de 4.5% tuvo la mayor mortalidad entre los insecticidas bioracionales; en los hongos entomopatógenos *B. bassiana* tuvo mortalidad de 80% o mayores en 4 de 6 fechas de aplicación, mientras que Tri-Sin alcanzó el 80 % en 3 de 6 fechas. Esto demuestra que tanto el nim al 4.5% como Tri-Sin y *B. bassiana* tiene buen efecto ovicida contra *B. cockerelli* (figura 2).

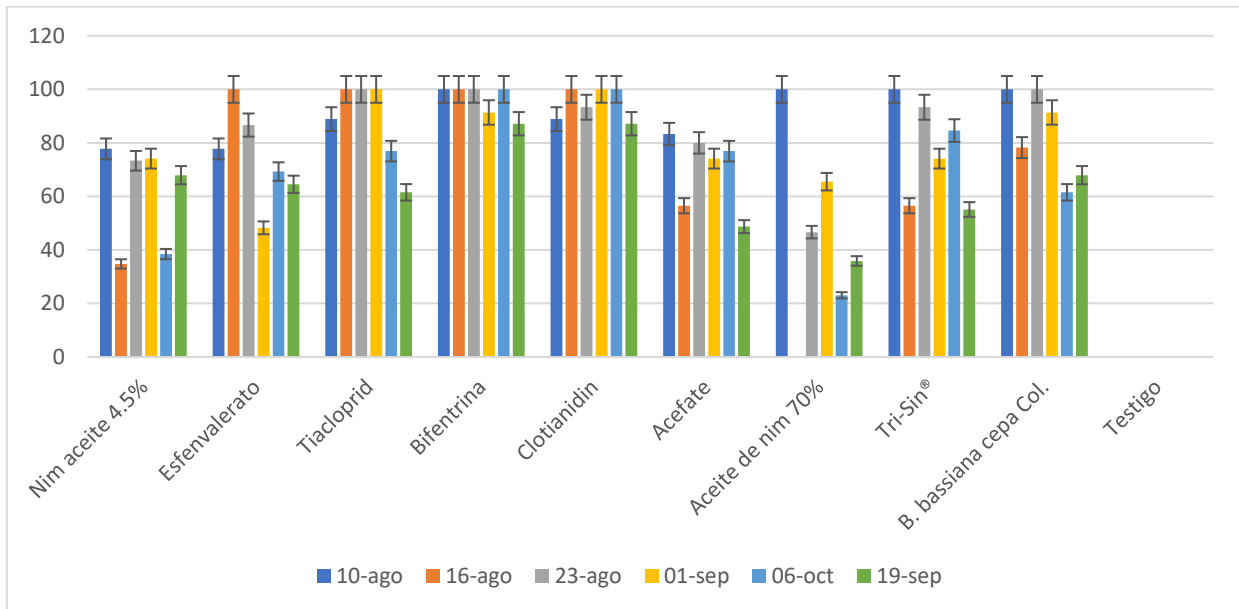


Figura 2.- Mortalidad en huevecillos de paratuberculosis 48 horas después de la aplicación. Cultivo: jitomate saladette. La Concepción, municipio de Ayotlan, Jalisco.

Se apreció que a las 48 horas alcanzó cada tratamiento su máximo potencial de mortalidad sobre la población (figura 2). La formulación de nim 4.5% alcanzó niveles de mortalidad entre 35 y 78%. Solamente en la primera fecha de aplicación, las formulaciones de nim (4.5 y 70%) tuvieron entre 80 y 100% de mortalidad. Los hongos entomopatógenos tuvieron mortalidad variable desde 58 hasta 100% 48 horas después de la aplicación.

Entre los insecticidas químicos: thiacloprid, bifentrina, clotianidin fueron los insecticidas que causaron la mayor mortalidad después de 48 horas de la aplicación (figura 2).

En el análisis de la mortalidad causada por los tratamientos en las ninfas de paratuberculosis 24 horas después de la aplicación, (figura 3) la formulación de nim al 70% alcanzó entre 70 a 85% de mortalidad, siendo más efectiva que nim 4.5%. Los hongos entomopatógenos Tri-Sin y B. bassiana alcanzaron mortalidad superior al 80% durante las dos primeras fechas de aplicación y de 60% en las siguientes dos fechas. Los insecticidas organosintéticos de más rápido efecto sobre ninfas fueron: esfenvalerato thiacloprid y clotianidin. Acefate y bifentrina no tiene efecto rápido (hasta las 24 horas) en la mortalidad (figura 3).

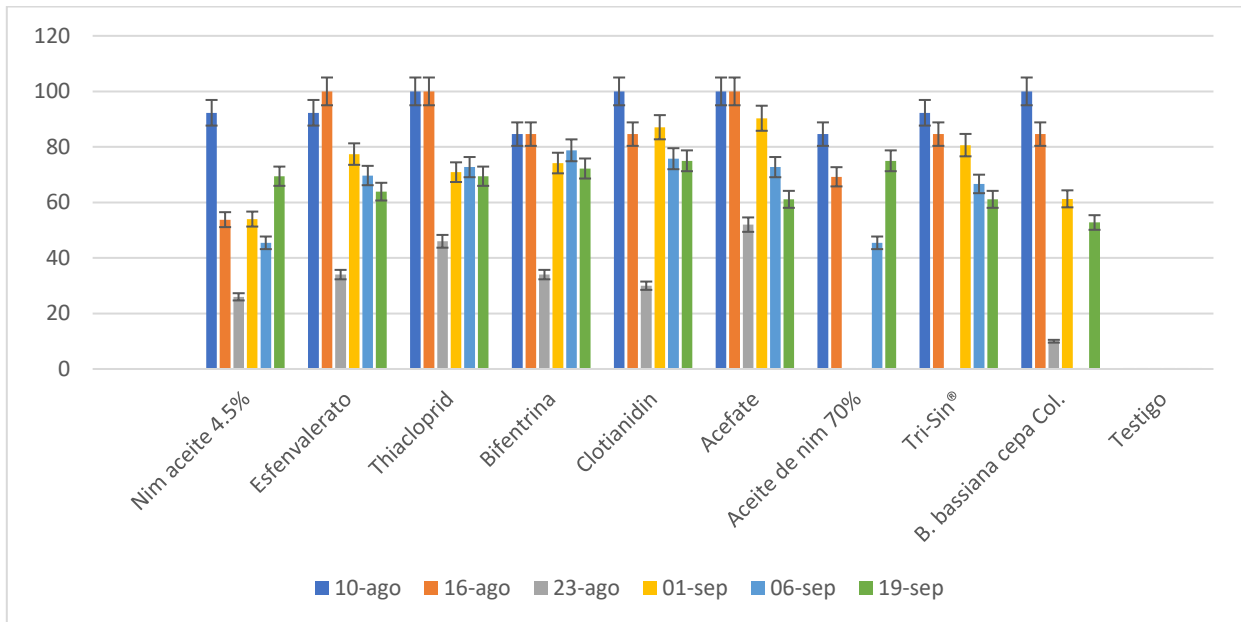


Figura 3.- Mortalidad en ninfas de Paratrypania 24 horas después de la aplicación. Cultivo: jitomate saladette. La Concepción, municipio de Ayotlan, Jalisco.

En la revisión de mortalidad en ninfas 48 horas después de la aplicación, *B. bassiana* y Tri-Sin tuvieron porcentajes de mortalidad de 80% durante las dos primeras fechas y un poco menor de 80% en la cuarta fecha (1 septiembre); el nim 70% estuvo entre el 60 al 90% entre fechas de aplicación (figura 4); mientras que los insecticidas químicos: Thiocloprid, Bifentrina y Clotianidin tuvieron entre 80 a 100% de mortalidad (figura 4).

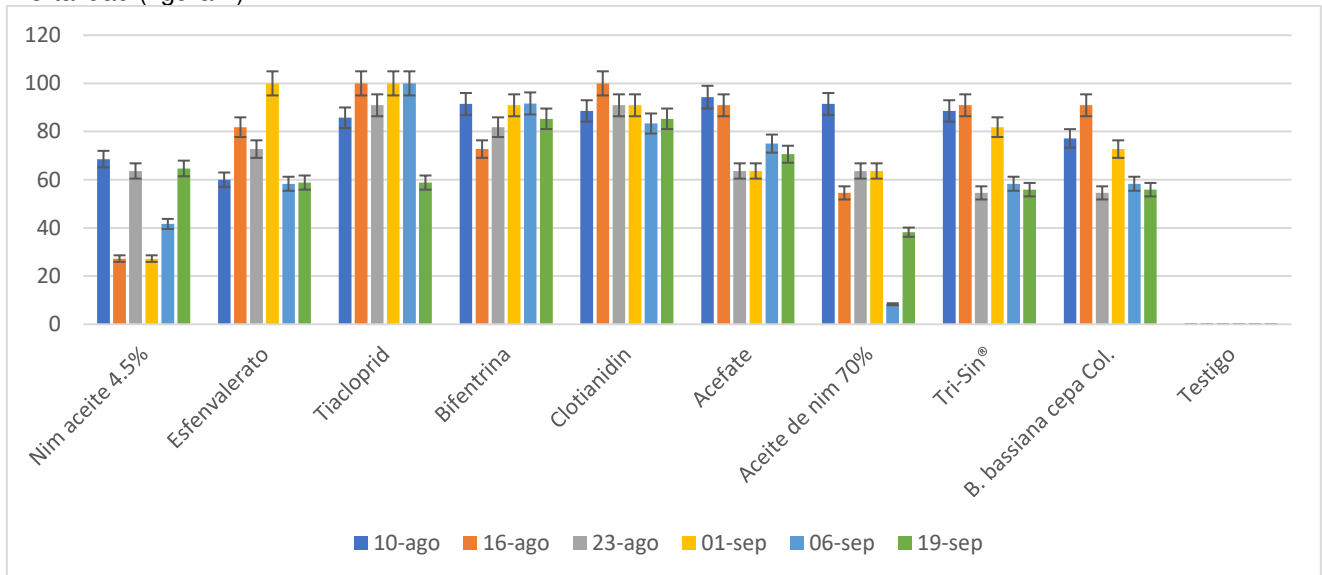


Figura 4.- Mortalidad en ninfas de Paratrypania, 48 horas después de la aplicación. Cultivo: jitomate saladette. La Concepción, municipio de Ayotlan, Jalisco.

Se realizó un muestreo de poblaciones de paratrypania a las 72 horas y se decidió suspender este muestreo debido a que las poblaciones de insectos eran muy bajas.

En el análisis de la mortalidad de adultos de paratrypania a las 24 horas después de la aplicación, el nim 4.5% presentó mortalidad de 75 al 85% siendo mejor que la formulación de nim a concentración del

70% ; los hongos entomopatógenos no tuvieron porcentajes tan efectivos y los insecticidas químicos mas efectivos fueron: Bifentrina, Clothianidin y Tiacloprid (figura 5).

La importancia de esta revisión es que permite distinguir aquellos tratamientos de acción rápida, esto es importante cuando se busca un tratamiento que tenga efecto sobre las poblaciones de insectos plaga desde las primeras horas y no les permita reproducirse, dispersarse o seguir infectando mas plantas. (Ames Herbert *et al.* 2007).

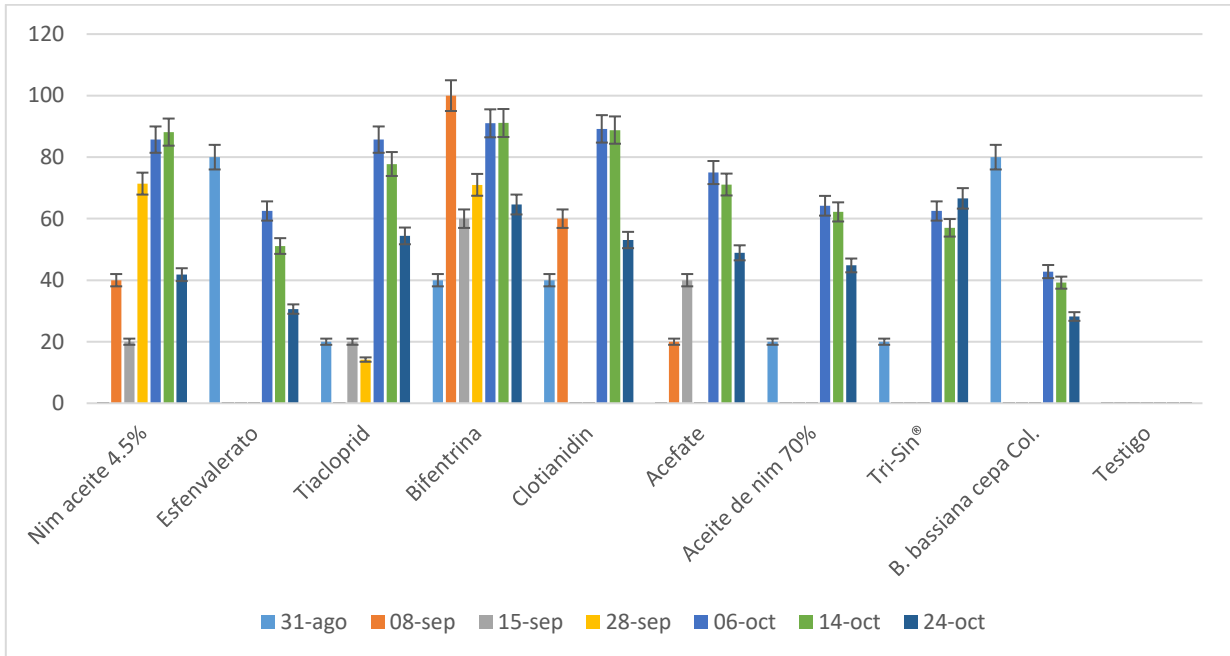


Figura 5.- Mortalidad en adultos de Paratrioza 24 horas después de la aplicación. Cultivo: jitomate salatette. La Concepción, municipio Ayotlan, Jal.

En la revisión de mortalidad de adultos a los 48 horas después de la aplicación (figura 6), los resultados fueron similares a los vistos en la figura 5. El nim 4.5% fue la mejor formulación de nim entre las evaluadas; la formulación de hongos entomopatógenos Tri-Sin alcanzó porcentajes de 60% y 80 % en cuatro fechas de aplicación. Los mas efectivos insecticidas químicos fueron: Thiocloprid, Bifentrina y Clotianidin.

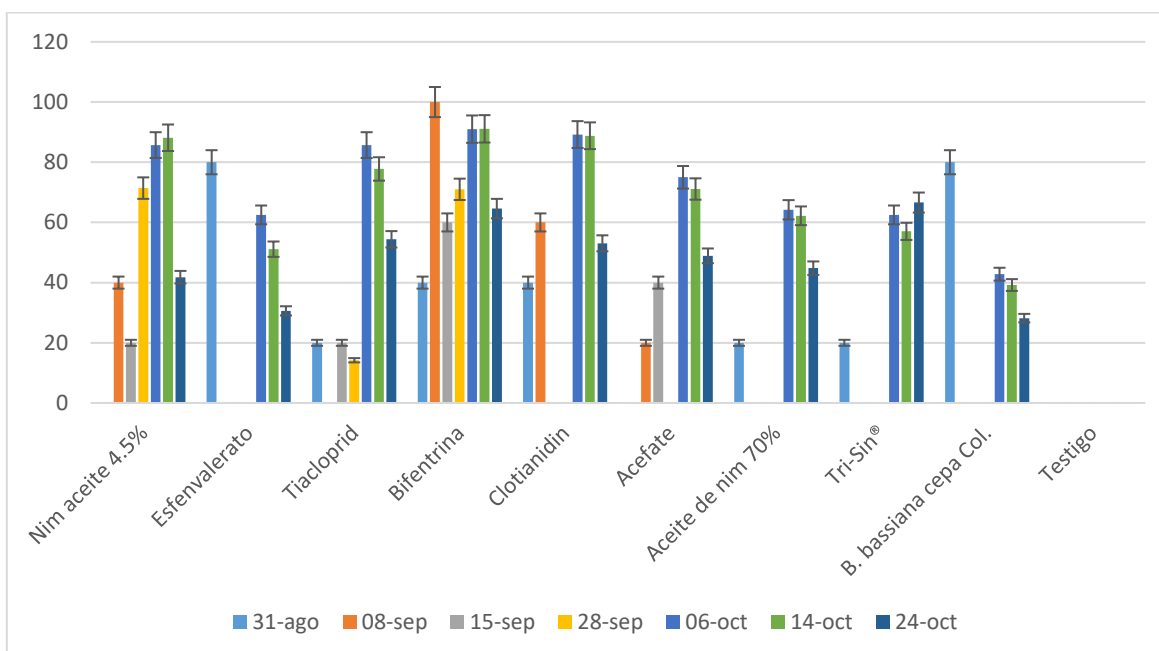


Figura 6.- Mortalidad en adultos de Paratrypana, 48 horas después de la aplicación. Cultivo: jitomate saladette. La Concepción, municipio de Ayotlan, Jal.

Cuadro 2.- Diferencia estadística entre tratamientos insecticidas contra huevos de paratrypana, 48 horas después de la aplicación. Cultivo jitomate saladette. La Concepción, municipio de Ayotlan, Jal.

Tratamientos	31 ago	8 sep	15 sep	28 sep	6 oct	14 oct	24 oct
Nim aceite 4.5%	0.15 a	0.10 c	0.15 c	0.45 bcd	0.15 d	0.35 c	4.5 cd
Esfenvalerato	0.00 a	0.00 c	0.45 bc	0.95 b	0.95 c	1.60 b	6.10 bc
Tiacloprid	0.10 a	0.10 c	0.05 c	0.35 bcd	0.15 d	0.60 c	3.10 cd
Bifentrina	0.00 a	0.00 c	0.00 c	0.25 cd	0.00 d	0.45 c	2.35 d
Clotianidin	0.50 a	0.00 c	0.05 c	0.10 d	0.05 d	0.20 c	2.70 d
Acefate	0.05 a	0.20 c	0.30 bc	0.40 bcd	0.90 c	0.60 c	3.85 cd
Aceite de nim 70%	0.40 a	0.95 b	0.05 c	0.85 bc	1.30 bc	0.60 c	3.90 cd
Tri-Sin	0.35 a	0.75 b	0.80 b	0.95 b	0.60 cd	0.80 c	2.95 d
<i>B. bassiana cepa Col.</i>	0.10 a	1.50 a	1.45 a	3.05 a	1.90 ab	2.70 a	7.80 b
Testigo	0.15 a	0.20 c	0.40 bc	0.95 b	2.05 a	2.40 a	12.10 a
Valor DMS 0.05%	0.55	0.41	0.54	0.62	0.72	0.79	3.12

Las letras minúsculas iguales después de las cifras indican que no hay diferencia entre tratamientos, de acuerdo con la prueba de medias DMS al 0.05 de probabilidad.

El cuadro 2 presenta los datos de la prueba de rango múltiple de DMS a una probabilidad de de error 0.05. del efecto de los tratamientos evaluados, en los huevos de paratrypana. Estos resultados reflejan la misma tendencia presentada por los análisis de mortalidad. Todos los tratamientos insecticidas fueron estadísticamente mejores que el testigo. Las dos formulaciones de nim mostraron efectividad, el Tri-Sin causó mayor porcentaje de mortalidad que *B. bassiana* y los mas efectivos insecticidas químicos por su efecto ovicida fueron: Tiacloprid, bifentrina clotianidin y acefate (cuadro 2).



Cuadro 3.- Diferencia estadística entre tratamientos insecticidas contra ninfas de paratrioza, 48 horas después de la aplicación. Cultivo: jitomate saladette. La Concepción, municipio de Ayotlan, Jal.

Tratamientos	31 ago	8 sep	15 sep	28 sep	6 oct	14 oct	24 oct
Nem 4.5%	0	0.00 b	0.00 c	0.15 c	0.45 c	0.30 de	5.00 bc
Esfenvalerato	0	0.00 b	0.05 c	0.30 bc	1.65 ab	1.05 c	6.00 b
Thiacloprid	0	0.00 b	0.00 c	0.05 c	0.05 c	0.40 de	5.05 bc
Bifentrina	0	0.00 b	0.00 c	0.05 c	0.15 c	0.00 e	3.45 bc
Clotianidin	0	0.00 b	0.00 c	0.05 c	0.00 c	0.00 e	2.65 c
Acefate	0	0.00 b	0.05 c	0.10 c	0.55 bc	0.40 de	4.15 bc
Nim 70%	0	0.00 b	0.00 c	0.55 b	0.90 bc	0.30 de	5.25 bc
Tri-Sin	0	0.05 b	0.05 c	0.60 b	0.85 bc	0.55 cd	4.05 bc
<i>B. bassiana cepa Col</i>	0	0.65 a	0.45 b	0.55 b	2.75 a	1.75 b	5.1 bc
Testigo	0	0.00 b	1.00 a	1.00 a	2.75 a	2.3 a	10.1 a
DMS 0.05%		0.22	0.35	0.30	1.12	0.53	2.95

Las letras minúsculas iguales después de las cifras indican que no hay diferencia entre tratamientos, de acuerdo con la prueba de medias DMS al 0.05 de probabilidad.

Al revisar la efectividad de los tratamientos contra ninfas de paratrioza a las 48 horas, después de la aplicación, las dos formulaciones de nim evaluadas fueron igualmente efectivas, al igual que las formulaciones de hongos entomopatógenos, fueron iguales estadísticamente. Los mejores tratamientos químicos fueron: Clotianidin, Bifentrina, Acefate, Thiacloprid, los cuales fueron estadísticamente iguales a los bioracionales y microbianos ya mencionados (cuadro 3).

Cuadro 4.- Diferencia estadística entre tratamientos insecticidas contra adultos de Paratrioza, 48 horas después de la aplicación. Cultivo jitomate saladette. La Concepción, municipio de Ayotlan, Jal.

Tratamientos	31 ago	8 sep	15 sep	28 sep	6 oct	14 oct	24 oct
Nim aceite 4.5%	1.25 a	0.75 bc	1.00 c	0.50 c	2.00 d	4.00 fg	42.75 bcd
Esfenvalerato	0.25 a	1.25 bc	2.00 c	5.00 b	5.25 bc	16.5 bc	51.00 bc
Tiacloprid	1.00 a	1.50 bc	1.00 c	1.50 c	2.00 d	7.5 ef	33.50 de
Bifentrina	0.75 a	0.00 c	0.50 c	0.50 c	1.25 d	3.00 g	26.00 e
Clotianidin	0.75 a	0.50 bc	1.25 c	1.75 c	1.50 d	3.75 fg	34.50 de
Acefate	1.25 a	1.00 bc	0.75 c	2.00 c	3.50 cd	9.75 de	37.50 cde
Aceite de nim 70%	1.00 a	4.50 b	5.00 b	5.00 b	5.00 c	12.75 cd	40.50 bcd
Tri-Sin	1.00 a	10.5 a	4.75 b	5.75 b	5.25 bc	14.50 c	24.50 e
<i>B. bassiana cepa Col.</i>	0.25 a	9.25 a	7.50 a	10.00 a	8.00 b	20.50 b	52.75 b
Testigo	1.25 a	1.25 bc	1.25 c	1.75 c	14.00 a	33.75 a	73.50 a
DMS 0.05%	1.01	4.48	1.50	1.50	2.79	4.39	13.61

Las letras minúsculas iguales después de las cifras indican que no hay diferencia entre tratamientos, de acuerdo con la prueba de medias DMS al 0.05

En la evaluación de efectividad de tratamientos contra adultos de paratrioza, a las 48 después de la aplicación, en algunas fechas la formulación nim al 70% fue mejor, pero en otras fechas, la formulación nim 4.5% la superó, por lo que ambas son efectivas. En las formulaciones de hongos entomopatógenos, el Tri-Sin se mostró en varias fechas de aplicación, mas efectivo que *B. bassiana*. Loas insecticidas químicos que mostraron mayorefectividad contra adultos de paratrioza a las 48 horas después de la aplicación fueron: Clotianidin, Bifentrina, Tiacloprid, aunque en varias fechas Acefate mostró alta efectividad.



CONCLUSIONES

La efectividad mostrada por los diversos tratamientos fue muy variable entre fechas de aplicación y entre estados de desarrollo de la plaga, algunos tratamientos tienen un marcado efecto ovicida, otros son más efectivos con ninfas, otras más con adultos.

Los resultados mostrados permiten hacer aplicaciones en forma secuenciada de nim o insecticidas biológicos antes de aplicar insecticidas químicos.

Es necesario realizar este tipo de evaluaciones para conocer la efectividad de los insecticidas y la forma de manejarlos más adecuadamente para un mayor control de plagas y menor contaminación del entorno.

LITERATURA CITADA.

- Almaguer-Vargas, G., J.F. Pérez Domínguez, L.M. Alvarado M., J. E. Mendoza A. R. Servín-Ramírez, H.E. Gallegos-Ortiz., J. Cervantes-Ríos. 2009. Manual para el horticultor del Bajío Michoacano. Universidad autónoma Chapingo – Fundación Produce Michoacan, A.C. e INIFAP. Manual Didáctico No. 7. 113 pp.
- Ames Herbert, D., Malone Jr. S., Aref S., Branderburg, R.L., Jordan, D.L., Royals, B.M., and Johnson, P.D. 2007. Role of insecticides in reducing thrips injury to plants and incidence of tomato spotted wilt virus in Virginia market-type peanut. *Journal of Economic Entomology* 100 (4):1241-1247.
- Pérez-Domínguez, J. F., R. Bujanos-Muñiz., M. Tapia-Vargas., M. Gallardo- Valdéz., A. Vidales-Fernandez. 2006. Agenda técnica para asesores y agentes de cambio del Estado de Michoacán. Manejo de insectos vectores de enfermedades virales en jitomate y chile de la Ciénega y Bajío Michoacanos. INIFAP. Fundación Produce Michoacan. 84 p.
- SAS Institute 2010. The SAS system for Windows, versión 9.3 SAS Institute. Cary, NC.
- Smith, H.A. 2020. Biopesticides for management of *Bemisia tabaci* MEAM 1 (Hemiptera: Aleyrodidae) and tomato yellow leaf curl virus. *Journal of economic entomology* 113 (5): 2310-2318.
- Srinivasan, R. Riley, D., Diffie, S., Sparks, A. and Adkins S. 2012. Whitefly population dynamics and evaluation of whitefly transmitted tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) resistant tomato genotypes as whitefly and TYLCV reservoirs. *Journal of economic entomology* 105 (4): 1447-1456.



PROYECCIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (RCP 8.5) SOBRE LA SUPERFICIE POTENCIAL FRUTICOLA EN CHILE

CLIMATE CHANGE PROJECTIONS (RCP 8.5) ON THE FRUIT POTENTIAL AREA IN CHILE

¹Bustos Silva G., ²Araya-Osses D., ²Cortez Lira D. y ¹Paneque M.

¹Laboratorio de Biotecnología Ambiental y Bioenergía – Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santa. Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile.

²Fundación Bionostra Chile Research. Almirante Lynch 1179, San Miguel, Santiago, Chile.
Autor para correspondencia: mpaneque@uchile.cl

RESUMEN

El sector agrícola es vulnerable frente al cambio climático debido a la estrecha relación entre el clima y los cultivos. En particular, el sector frutícola es uno de los más afectados, ya que no tiene la capacidad de adaptar los ciclos de vida ni las épocas de siembra de sus especies. Para Chile se estima un aumento de las temperaturas de al menos 2°C en todo el territorio nacional y una disminución de las precipitaciones invernales de más de un 40% en la zona centro sur; lo que afecta la aptitud del territorio agrícola donde se concentra el 85% de la fruticultura. El estudio se abocó en estimar la variación de la superficie potencial de los principales cultivos frutícolas exportables (arándano, cerezo, manzano, nogal y vid de mesa) de Chile para el período 2046-2065, bajo el escenario RCP 8.5. Se proyectó una disminución de la superficie apta de 1,1 M ha a nivel nacional, donde el 54% de la pérdida se concentró entre las regiones de Antofagasta y Valparaíso. El nogal y la vid de mesa fueron los frutales que presentaron mayor reducción de superficie potencial, con 24,6% y 24,5%, respectivamente. Por otro lado, se identificó para el cerezo un incremento de 1.390 ha de superficie sin restricción en un escenario futuro. Además, se identificó un desplazamiento de la superficie apta potencial hacia zonas precordilleranas y sur del país, y se visualiza una oportunidad de desarrollo de cultivos frutícolas en regiones como La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, las que hoy presentan importantes limitaciones.

Palabras clave: *Fruticultura, Cambio climático, superficie potencial, Chile.*

INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) ha alterado los patrones del clima (Schwartz, 1996), por ejemplo el aumento de 1,2°C de la temperatura media global en el período 1880-2020 (WMO,2021), la disminución en la frecuencia de las heladas (Heino *et al.*, 1999; Bonsal *et al.*, 2001; Easterling, 2002) y el incremento en el número de los eventos de precipitaciones extremas en diferentes regiones del planeta (IPCC, 2013b). Además, se ha observado un aumento en la intensidad, duración y extensión de sequías en regiones tropicales y subtropicales (IPCC,2007) y se proyecta que el área afectada por sequías aumente entre un 15,4 y 44% para el año 2100 a nivel mundial (Li *et al.*, 2009).

Factores climáticos, como la radiación solar, la temperatura y las precipitaciones condicionan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Rosenzweig *et al.* 2001), lo cual es relevante para el rubro agrícola ya que tiene consecuencias en su producción (Bates *et al.*, 2008). Los eventos climáticos extremos incrementan la vulnerabilidad del rubro agrícola (Mendelsohn y Dinar, 2009; Chávez *et al.*, 2012; Stefanos *et al.*, 2012), debido a que las condiciones de estrés abiótico -como temperaturas extremas y sequías- están asociadas a una baja productividad (Lambers *et al.*, 1998; Hijmans, 2003; Reddy *et al.*, 2004; Montoliu, 2010).

El CC es una grave amenaza para la seguridad alimentaria, y requiere una adecuada gestión del riesgo en todos sus ámbitos, incluyendo mecanismos de alerta temprana, y medidas que reduzcan la vulnerabilidad a nivel local (Schmidhuber y Tubiello, 2007; Gutiérrez *et al.*, 2020). La productividad agrícola se verá afectada por el CC (Lobell y Field, 2007; Chen *et al.*, 2015; Sheng y Xu, 2019),



particularmente en áreas donde los cultivos crecen bajo condiciones límites de temperatura y/o de disponibilidad hídrica, modificando la aptitud del territorio (Arenas-Castro *et al.*, 2020), el rendimiento y la distribución geográfica de las especies (Rosenzweig *et al.* 2001; Tubiello *et al.*, 2007; Bates *et al.*, 2008; Dawson y Spannagle, 2009).

La determinación de la aptitud del territorio es una herramienta para la planificación agrícola y una medida de adaptación al CC (Piiikki, 2015). Navarro *et al.* (2018) determinaron que la aptitud del cultivo del café en México no variará para el año 2050 bajo la trayectoria de concentración representativa (RCP) 8.5 de CC, sin embargo, su rendimiento potencial promedio disminuirá 41%. Por otro lado, Arenas-Castro *et al.* (2020) proyectaron una disminución de la superficie potencial de hasta un 90% en distintas variedades de olivo debido al aumento de la evapotranspiración y disminución de las precipitaciones. A pesar de ello, a escala local, el CC podría traer oportunidades para la agricultura, como la elevación de los pisos altitudinales debido al aumento de las temperaturas (Mendoza, 2009), mejorando la aptitud agronómica en las regiones templadas del hemisferio norte y en las zonas meridionales de América Latina (Maletta, 2011).

Se estima que en Chile el CC provocará una reducción del 32% de las tierras arables para el año 2048 (Santibáñez *et al.*, 2008) y se proyecta un desplazamiento hacia el sur de las zonas de cultivos agrícolas (CEPAL, 2015). Estudios realizados mediante el modelo SIMPROC (Santibáñez, 2001), para las especies de durazno, manzano, naranjo, vid, frijol, maíz, papa, remolacha y trigo, proyectaron mejoras en la productividad en el sur y valle central de Chile, y pérdidas en el resto del país para el año 2040 en los escenarios A2 y B2 de CC (Santibáñez, 2008; CEPAL, 2012). También, se estimó que la producción de manzana, palta, cereza, uvas, aceituna, naranja, durazno, pera, ciruela y nuez disminuiría un 53% en la zona norte, 19% en el centro y 11% en el sur, para el año 2040 en el escenario A2 (Ponce *et al.* 2014).

El sector frutícola en Chile representa el 33% del PIB del sector silvoagropecuario (ODEPA, 2019), y genera 0,073 M empleos permanentes y 0,383 M empleos de temporada (Apey, 2019; Parodi, 2019). Este sector ha crecido 71.000 ha (29%) entre los años 2008 y 2018 (ODEPA, 2019), y más del 85% de la superficie plantada se encuentra entre las regiones de Coquimbo y del Maule (Apey, 2019; Parodi, 2019). Las exportaciones frutícolas representan más del 60% de la producción nacional (ODEPA, 2019) y se espera que en el año 2030 el valor de las exportaciones frutícolas pueda alcanzar los USD FOB 11.634 M (ODEPA, 2017). Los productos frutícolas más exportados son uvas de mesa, cerezas, ciruelas, arándanos, manzanas, paltas, peras, y frutos secos, deshidratados y congelados (Apey, 2019).

El sector frutícola es importante para Chile, y aunque se encuentra expuesto a los efectos del CC son escasos los estudios que de adaptación al CC de este sector. En este estudio se analizó los efectos del CC sobre la superficie disponible para los principales frutales de exportación en el período 2046-2065 escenario RCP 8.5 de cambio climático. Dicho escenario considera emisiones de GEI de 8.5 W m⁻² para finales del siglo XXI, presupone medidas nulas de los gobiernos para paliar el cambio climático, así como un desarrollo económico basado en los combustibles fósiles (IPCC, 2013a), y que además, se proyecta como el escenario más plausible de ocurrir (Moss *et al.*, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en Chile continental (17°29'57", 56°30'12"; Figura 1). La superficie total del área de estudio es de 755.776,4 km² (IGM, 2008). Su extensión longitudinal (38 paralelos) tiene como consecuencia una gran diversidad de climas, donde la zona norte se caracteriza por climas áridos; la región central, por los climas mediterráneos; y el extremo sur por climas húmedos y lluviosos. En el gradiente este-oeste, el movimiento de las masas de aire y lluvias es influenciado por el relieve, de este modo la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa es más lluviosa que la oriental; el Llano Central más lluvioso que el sector oriental de la Cordillera de la Costa, y menos que el Piedmont de la Cordillera de los Andes (Uribe *et al.*, 2012).

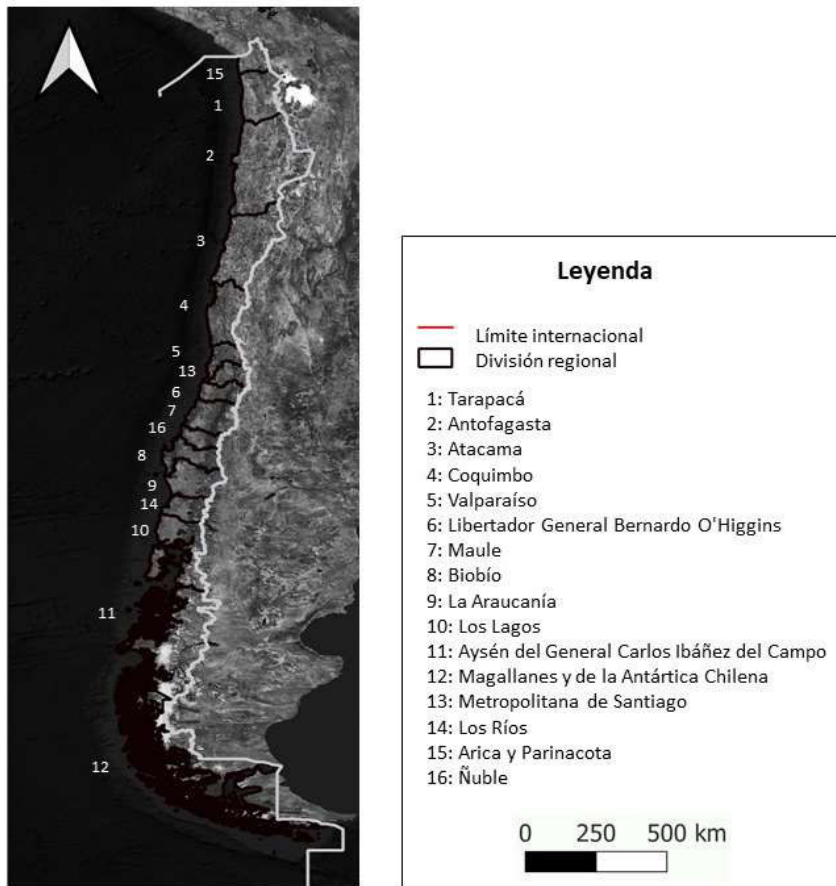


Figura 1: Área de estudio, Chile continental

Definición de los rangos agroclimáticos de adaptación de los principales frutales exportables de Chile

Selección de los principales cultivos frutícolas exportables de Chile

Se determinaron los 5 principales cultivos frutícolas de exportación, para esto, se utilizó el “Boletín de fruta 2020” y “Datos Estadísticos” pertenecientes a la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2020a; 2020b). Los principales cultivos frutícolas exportables se identificaron según 4 variables: superficie (ha), velocidad de crecimiento de la superficie cultivada en los últimos 10 años (ha año⁻¹), ingresos totales obtenidos por exportación (USD) y volumen total exportado (t). Los resultados de cada variable se normalizaron con valores entre 0 y 1 (Ecuación 1), donde a mayor magnitud, mayor fue el valor numérico; esto con la finalidad de poder relacionar variables con diferentes unidades según su grado de influencia en el sistema. Se seleccionaron los 5 frutales con mayor puntaje acumulado según las 4 variables establecidas (Ecuación 2).

$$Pe = \frac{(x_i - x_{\min})}{(X_{\max} - x_{\min})}$$

Ecuación 1: Normalización de puntajes de importancia por cultivo

Donde:

P_n = Puntaje normalizado del cultivo para una variable.

X_i = Valor que presenta el cultivo según la variable.

X_{\min} = Valor mínimo de los cultivos frente a la variable.

X_{\max} = Valor máximo de los cultivos frente a la variable.



$$Pc = Ps + Pv + Pi + Pv_{10}$$

Ecuación 2: Determinación de puntajes de importancia por cultivo

Donde:

Pc = Puntaje total del cultivo

Ps = Puntaje superficie total (ha) para el año 2019

Pv = Puntaje volumen exportado total (Ton) para el año 2019

Pi = Puntaje ingresos totales (USD) obtenidos por exportación para el año 2019

Pv_{10} = Velocidad de crecimiento de la superficie (ha) del cultivo en 10 años

Determinación de los rangos climáticos de los principales cultivos frutícolas exportables de Chile

El requerimiento climático de los frutales de exportación se realizó según las características climáticas presentes en lugares donde se registra la presencia de los 5 frutales (Román-Figueroa *et al.*, 2017). Se identificaron como mínimo 30 lugares para cada especie con una proximidad no mayor a 10 minutos en latitud y longitud con respecto a la localización de la estación meteorológica más cercana, las cuales debían contar con un registro de 30 años como mínimo para cada variable climática.

Para cada estación meteorológica se consideraron las variables: temperatura mensual media (°C), temperatura mensual mínima promedio del mes más frío (°C; enero para el hemisferio norte y julio para hemisferio sur), temperatura mensual máxima promedio del mes más cálido (°C; julio para el hemisferio norte y enero para el hemisferio sur), humedad mensual relativa promedio (%), y precipitación mensual (mm). La información primaria permitió determinar las variables climáticas días grado (Ecuación 3), evapotranspiración potencial (mm año⁻¹; Ecuación 4), déficit hídrico (mm año⁻¹; Ecuación 5) y horas frío (Ecuación 6).

Los rangos de adaptabilidad climática de las variables seleccionadas se determinaron mediante histogramas y diagramas de dispersión de los datos climáticos, y se seleccionaron de acuerdo a la concentración de datos que presentó cada variable tras la eliminación de los valores atípicos (Román-Figueroa *et al.*, 2019).

$$DD = \sum_{i=m}^{n=m_f} \left\{ nd_i \times \left[\left(\frac{tx_i + tn_i}{2} \right) - t_u \right] \right\}$$

Ecuación 3: Cálculo de días grados (Román-Figueroa et al., 2019).

Donde:

DD = Días grados

m = Mes del periodo considerado

m_f = Mes final del periodo considerado

nd_i = Número de días en el mes i

tx_i = Temperatura máxima promedio del mes i (°C)

tn_i = Temperatura mínima promedio del mes i (°C)

t_u = Umbral de temperatura

El umbral de temperatura (t_u) depende de la altitud y la latitud donde se registro la especie, puede ser 5 °C (latitud superior a 46° o altitud superior a 2000 m), 7 °C (latitud entre 28° y 46° y altitud entre 1500 y 2000 m) o 10 °C (latitud por debajo de 38° y altitud por debajo de 1500 m).

$$ETp = \sum_{i=m}^{n=m_f} 0.0018 \times \left\{ \left[25 + \left(\frac{tx_i + tn_i}{2} \right) \right]^2 \right\} \times (100 - RH_i)$$

Ecuación 4: Cálculo de evapotranspiración potencial (Román-Figueroa et al., 2019).



Donde:

ETp = Evapotranspiración potencial ($mm \cdot año^{-1}$)

m = Primer mes del año

m_f = Último mes del año

tx_i = Temperatura máxima promedio del mes i ($°C$)

tn_i = Temperatura mínima promedio del mes i ($°C$)

RH_i = Humedad relativa del mes i (%)

$$WD = P - ETp$$

Ecuación 5: Cálculo de déficit hídrico (Román-Figueroa et al., 2019).

Donde:

WD = Déficit hídrico ($mm \cdot año^{-1}$)

ETp = Evapotranspiración potencial ($mm \cdot año^{-1}$)

P = Promedio anual de precipitación ($mm \cdot año^{-1}$)

$$HF = 485.1 - 28.52 \times T_m$$

Ecuación 6: Cálculo de horas frío (Valenzuela et al., 2014).

Donde:

HF = Horas frío

T_m = Temperatura mensual media ($°C$)

Estimación de la aptitud del territorio actual y futuro de los principales frutales de exportación en Chile

La identificación de la aptitud del territorio se realizó mediante la combinación de los requerimientos climáticos de las especies y variables espaciales, que representan los parámetros agroclimáticos. A la combinación de las variables y sus requerimientos se les denomina criterios de evaluación o reglas de decisión (FAO, 1997; Rossiter, 1996).

Se utilizó una regla de decisión en base a factores (climáticos) y limitantes (usos de suelo y relieve). Un variable factor permite el establecimiento de una especie en un área en particular. Las variables limitantes imposibilitan el establecimiento de la especie en un territorio. Para cada variable climática establecida como factor se generaron rangos de aptitud (sin restricción, restricción leve, restricción moderada y restringido) según la concentración de datos y el comportamiento de la variable, lo que diferenció áreas de mayor aptitud para el cultivo de otras que sean marginales o de menor grado. Por otro lado, las variables limitantes correspondieron a las zonas con presencia de cuerpos de agua, red vial, áreas pobladas, áreas protegidas por el estado, áreas protegidas privadas y zonas con pendientes mayores a 8%.

La información climática actual se obtuvo de Uribe et al. (2012), mientras que la proyectada para el periodo 2046-2065 escenario RCP 8.5 de Araya-Osses et al. (2020). Las variables limitantes se obtuvieron de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN; 2020), Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE-Chile; 2020) y Modelos de Elevación Digital ASTER 100m (USGS, 2000). Estos archivos se llevaron a un mismo sistema de referencia (WGS 84) y se ajustaron a la superficie del territorio nacional.

Las variables factores fueron reclasificadas según los rangos de adaptación determinados para cada especie en estudio y se procesaron junto con las limitaciones mediante el software QGIS y ArcGIS, utilizando las reglas de decisión a través de operaciones de lógica booleana, donde se excluyeron las áreas limitantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principales frutales de exportación fueron el arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), cerezo (*Prunus avium* L.), manzano (*Malus domestica* Borkh.), nogal (*Juglans regia* L.) y vid de mesa (*Vitis vinífera* L.). Para el año 2019 los 5 frutales representaron el 50,4% del total de la superficie frutícola nacional (Apey, 2019) y el 67% de los ingresos nacionales por exportación (ODEPA, 2020a).

Las zonificaciones climáticas, actual y proyectada, presentaron como principal restricción el factor térmico (Figura 2). La superficie restringida por factores térmicos es mayor que la restringida por factores hídricos. Para la situación actual, los factores térmicos restringen un 74% del territorio nacional, mientras que el 14% del territorio es restringido por factores hídricos en los que la superficie. Para la situación proyectada, los factores térmicos restringen el 81% de la superficie de Chile, en cambio los hídricos el 15%.

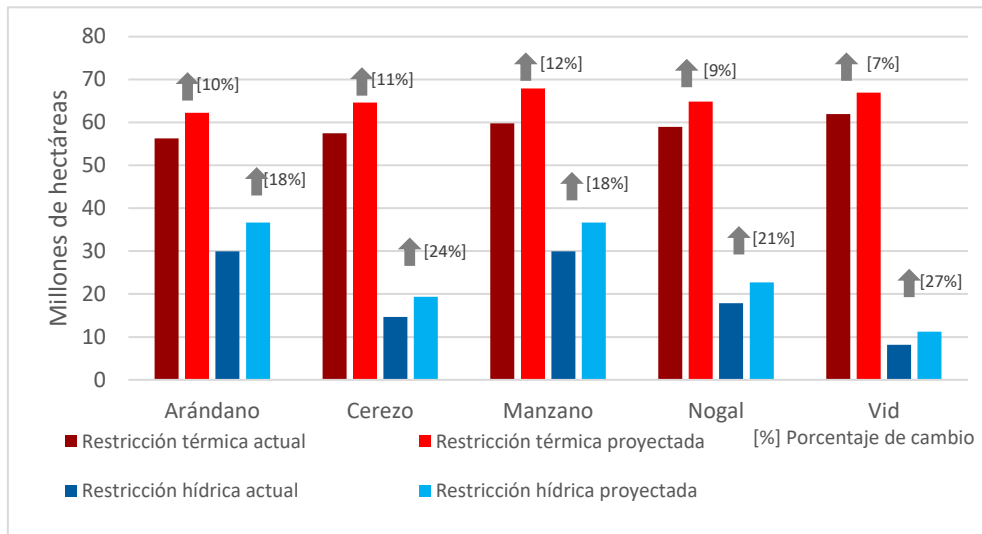


Figura 2. Variación de la superficie restringida por factores hídricos y térmicos para el periodo 2046-2065 bajo el escenario RCP 8.5 de cambio climático

Debido al incremento de la temperatura y disminución de la precipitación, todos los frutales aumentaron la superficie restringida por factores hídricos y térmicos en un escenario futuro (Figura 2). La superficie con restricción térmica de los 5 frutales en conjunto aumentó en un 9% para la situación proyectada y la restricción hídrica un 4%. Cuatro frutales mostraron un mayor incremento de la restricción hídrica, y solamente el manzano mostró mayor incremento de la restricción debido a la condición térmica. En términos relativos, la mayor variación de las condiciones hídricas se registró en vid de mesa, con un aumento de 27%, mientras que para el manzano la superficie restringida incremento un 12% en factores térmicos.

Se identificó un aumento de la superficie con restricción térmica en valles y áreas con influencias costeras, siendo las zonas centro y norte las más afectadas. Se observó un desplazamiento de la aptitud térmica hacia sectores precordilleranos y el sur de Chile, donde se proyectó una extensión de la aptitud térmica hasta la región de Los Lagos para el arándano y cerezo, la región de Los Ríos para el manzano y nogal, y la región de la Araucanía para la vid de mesa.

La zonificación agroclimática determinó una variación de la superficie apta de los frutales en una situación futura a nivel nacional. En términos absolutos, la mayor pérdida de superficie potencial (1,0 M ha) se registró para el nogal y la vid de mesa (Figura 3), con una reducción de 24,6% y 24,5% de su condición original respectivamente, sin embargo, en términos relativos, el manzano fue el que presentó la mayor disminución de su superficie potencial con una reducción de 38%. A nivel nacional, la superficie potencial de los 5 frutales en conjunto registró una disminución de aproximadamente 1,2 M ha, equivalente al 18% de la superficie original. La región de Atacama sería la más afectada al disminuir el

93% de su superficie con algún grado de aptitud (687.266 ha), junto con la región de Coquimbo con una disminución del 86% (364.788 ha). La reducción de la superficie potencial de las regiones de Atacama y Coquimbo se debe a que se proyecta un aumento de las temperaturas mínimas para mediados de siglo (Araya-Osses *et al.*, 2020) y una disminución de las HF en dichas zonas (Fernández *et al.*, 2020), lo que incrementa la superficie restringida por factores térmicos.

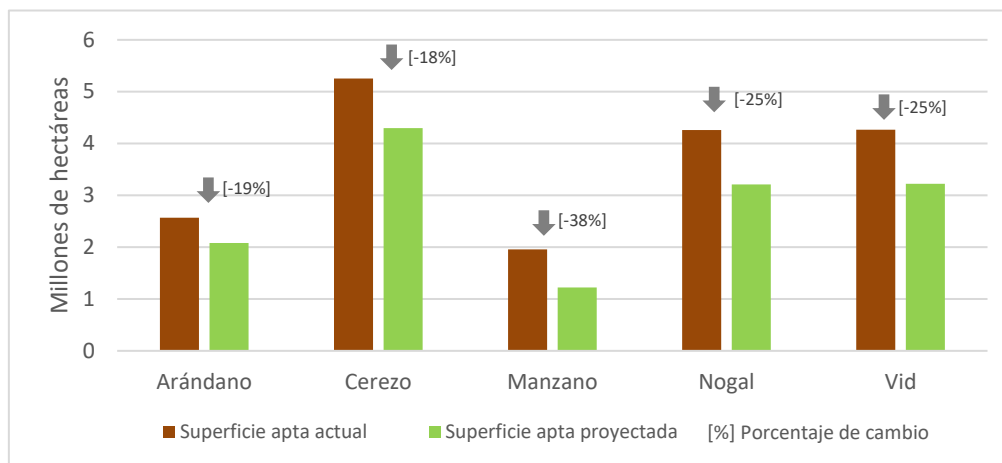


Figura 3. Variación de la superficie agroclimáticamente apta por frutal para el periodo 2046-2065 bajo el escenario RCP 8.5 de cambio climático

Pese a esto, se evidenció una situación particular en las regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá, donde la superficie con algún nivel de aptitud agroclimática incrementaron en 5.555 ha y 5.932 ha, equivalentes a un 73% y 671% de la superficie potencial actual respectivamente; regiones que actualmente presentan altas oscilaciones térmicas y grado de aridez (Uribe *et al.*, 2012). Así mismo, la región de la Araucanía incrementó su superficie potencial en 507.666 ha (64%) para una situación futura, debido al desplazamiento hacia el sur de Chile que obtuvo la aptitud térmica, producto del incremento de las temperaturas proyectado para el período 2046-2065 (Araya-Osses *et al.*, 2020), propiciando las condiciones climáticas para el establecimiento de todos los frutales analizados.

Por otro lado, se identificó una extensión de la aptitud agroclimática hacia el sur de Chile, donde las regiones de Los Ríos y Los Lagos, que en la situación actual no presentaron algún grado de aptitud agroclimática, si lo presentarán a mediados de siglo para todos los frutales excepto la vid de mesa. Esto coincide con lo estimado por ODEPA (2013) y CEPAL (2015), quienes proyectan un desplazamiento de las áreas de cultivo de los frutales de hoja caduca hacia estas producto del incremento de la temperatura y reducción de la precipitación.

Se determinó que 3,4 M ha mantuvieron la superficie potencial con respecto a la situación actual (Figura 4), donde la región del Maule destacó por representar el 31% de la superficie conservada a nivel nacional. El territorio conservado se encuentra distribuido principalmente en la zona centro sur, actuando como una zona de transición entre los efectos negativos que tendrá el cambio climático sobre la aptitud del territorio y las nuevas oportunidades que puedan surgir para el desarrollo de los cultivos.

Por otro lado, para el periodo 2046-2065, 3,2 M ha dejaron de presentar algún nivel de aptitud con respecto a la situación actual (Figura 4). La pérdida de aptitud tiene una distribución longitudinal y se presentó principalmente en zonas con influencias costeras entre las regiones de Antofagasta y de La Araucanía, siendo el sector más afectado el comprendido entre las regiones de Antofagasta y de Valparaíso, concentrando el 54% de la superficie con aptitud perdida a nivel nacional.

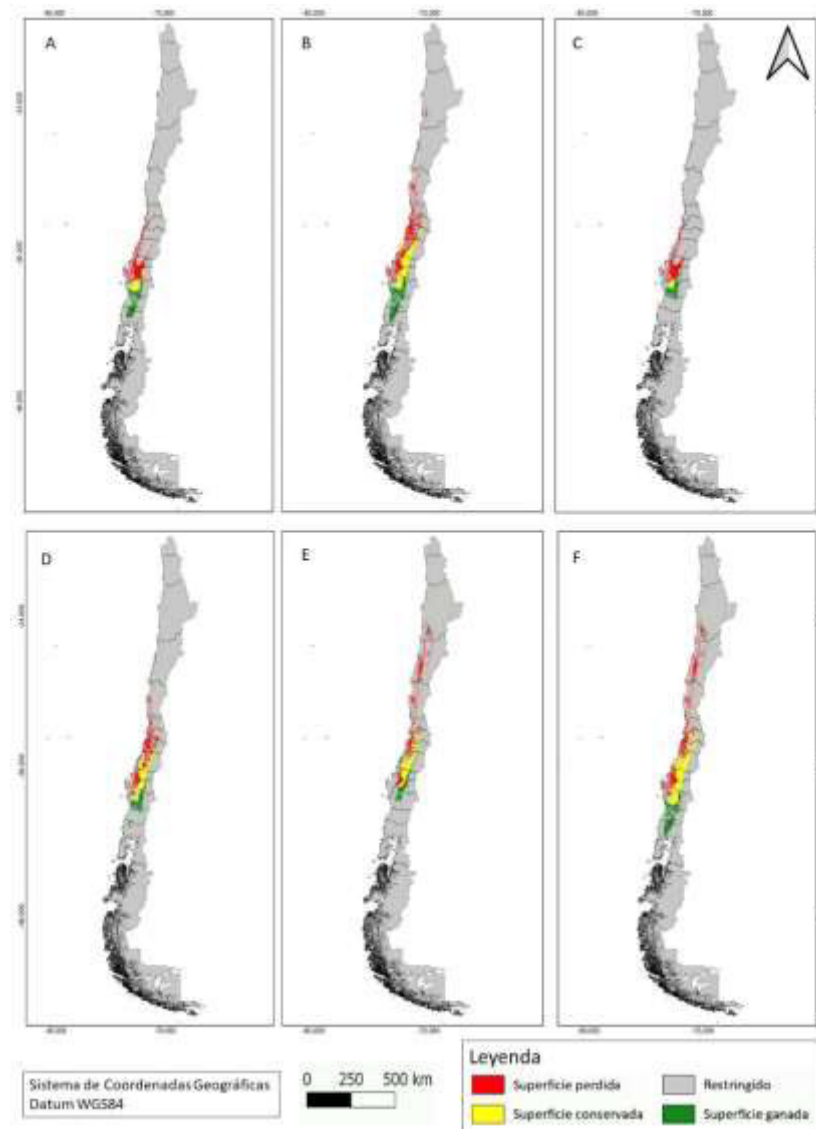


Figura 4. Cambios en la superficie potencial para (A) arándano, (B) cerezo, (C) manzano, (D) nogal y (E) vid de mesa en Chile para el periodo 2046-2065 bajo el escenario RCP 8.5 de cambio climático. F: resumen de los cambios de la superficie potencial total de los 5 cultivos frutícolas en el territorio nacional

El mayor impacto del CC sobre el sector agrícola sería en los frutales, ya que a diferencia de los cultivos anuales, no existe la posibilidad de modificar ciclos de vida ni épocas de siembra ante el cambio de temperatura proyectado para Chile (INIA, 2011). Existen medidas de mitigación para los efectos negativos del cambio climático sobre la distribución de algunas especies, evitando la pérdida de superficie de algunos frutales. Por ejemplo, Rojas *et al.* (2021) evaluaron la utilización de cubiertas para la protección de cerezas dulces ante precipitaciones extremas, sus resultados demostraron que puede ser una medida efectiva, pero que es dependiente del precio de mercado que posean los frutales. Por otro lado, Soto *et al.* (2020) estudiaron el uso de compensadores de frío mediante métodos químicos que permiten suplementar los requerimientos en frutales como el manzano, incluso Fernández *et al.* (2020) propusieron la introducción de cultivares con menores requerimientos de frío para facilitar el proceso de adaptación de los frutales al CC. En este sentido, para las zonas donde se intensificará la restricción hídrica, se puede optimizar el uso de agua para riego a través del mejoramiento tecnológico y procedimientos de gestión del recurso (infraestructura de distribución del agua; ODEPA, 2013).



A pesar de la disminución de la superficie potencial en el escenario futuro, se identificó una mejora en la categoría de aptitud para los frutales, donde la superficie sin restricción aumentó de 1.708 ha a 3.214 ha. El manzano en la situación actual fue el único frutal que presentó aptitud sin restricción, con una superficie de 1.418 ha en los valles entre las regiones del Biobío y de la Araucanía. En el escenario futuro la aptitud sin restricción para el manzano se redujo en 95% y se desplazó hasta la región de Los Lagos. En cambio, para el cerezo y la vid de mesa, disminuyó su superficie potencial a nivel nacional, pero a diferencia de lo obtenido en el escenario actual, donde no presentaron aptitud sin restricción, en un escenario futuro se estimó que habrán 3,148 ha con esta aptitud entre las regiones del Biobío y de la Araucanía, que representan el 97.9% de la superficie sin restricción a nivel nacional a nivel de los 5 frutales.

Finalmente, se determinó una superficie potencial nueva de 1,9 M ha (Figura 4), donde la aptitud de los cultivos se expandió hacia la Cordillera de los Andes y hacia el sur de Chile. Se obtuvo una distribución de la superficie potencial nueva de los 5 frutales desde Arica y Parinacota hasta Los Lagos, sin embargo, esta no fue homogénea, ya que las nuevas zonas potenciales localizadas en sectores precordilleranos representan tan solo el 14% de la superficie nueva obtenida a nivel nacional, a diferencia de la zona sur que representa el 86%, siendo la expansión longitudinal más influyente que la latitudinal para el clima futuro. Se han observado diferentes respuestas de las especies vegetales al cambio climático, donde la tendencia dominante es el desplazamiento de las especies hacia los polos y/o hacia mayores altitudes para ajustarse al aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones (Parmesan y Yohe, 2003). En este sentido, Santibáñez *et al.* (2008) estimó que en el futuro ocurrirá un desplazamiento generalizado en la distribución actual de los ecosistemas hacia el sur y laderas arriba en respuesta al CC en Chile.

CONCLUSIONES

En el escenario actual existen 6,5 M ha con algún nivel de aptitud para el arándano, cerezo, manzano, nogal y vid de mesa, mientras que en el escenario futuro serán 5,4 M ha con aptitud, donde el 54% de la reducción de la superficie potencial a nivel nacional se concentró las zonas norte y centro norte de Chile.

A pesar de la disminución de la superficie potencial, el desplazamiento de la aptitud térmica de los cultivos hacia el sur de Chile y hacia la Cordillera de los Andes permitiría la habilitación de nuevos territorios para la producción de frutales, donde se determinaron 1,9 M ha de superficie potencial nueva. Se identificó un incremento de la superficie potencial de los 5 cultivos exportables de mayor importancia en Chile para las regiones de Arica (73%) y Parinacota, Tarapacá (671%), La Araucanía (64%), Los Ríos (100%) y Los Lagos (100%), a diferencia del resto de las regiones.

Por otro lado, se registró una mejora en la categoría de aptitud del territorio para un escenario futuro, incrementando de 1.418 a 3.214 ha la superficie sin restricción, pero que se limitó a una franja en los valles distribuidos entre la región del Biobío y la de Los Ríos. El cerezo fue el frutal que obtuvo la mayor superficie sin restricción para la situación futura, la que se concentró únicamente en la región de la Araucanía y representó el 75% de la superficie sin restricción a nivel nacional.

El desarrollo de procesos de zonificación agroclimática facilita la identificación de los efectos del CC, reconociendo especialmente las áreas de menor exposición a sus impactos sobre el sector frutícola, siendo una herramienta útil tanto para la optimización de los recursos como para el desarrollo de planes de mitigación y adaptación.

LITERATURA CITADA

- Apey, A. 2019. La fruticultura en Chile: tendencias productivas y su expresión territorial. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura.
- Arenas-Castro, S., Gonçalves, J. F., Moreno, M., and Villar, R. 2020. Projected climate changes are expected to decrease the suitability and production of olive varieties in southern Spain. *Science of The Total Environment*, 709, 136161.



- Bates, B., Z. Kundzewicz, S. Wu, and J. Palutikof. 2008. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland.
- Bonsal, B., Zhang, X., Vincent L. and Hogg, W. 2001. Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of Climate*, 14(9), 1959-1976.
- Chávez Suárez, L., Álvarez Fonseca, A., and Ramírez Fernández, R. 2012. Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 47-56.
- Chen, S., Chen, X. y Xu, J. 2015. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 76, 105-124.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2012. La economía del Cambio Climático en Chile. Colección Documentos de Proyectos. Naciones Unidas, Santiago, Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2015. Agricultura y cambio climático: economía y modelación.
- Dawson, B. y Spannagle, M. 2009. *The Complete Guide to Climate Change*. Nueva York, Routledge.
- Easterling D. R. 2002. Recent changes in frost days and the frostfree season in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(9), 1327-1332.
- Fernández, E., Whitney, C., Cuneo, I. F., and Luedeling, E. 2020. Prospects of decreasing winter chill for deciduous fruit production in Chile throughout the 21st century. *Climatic Change*, 159(3), 423-439.
- Gutiérrez, S. S. M., Álvarez, J. C., Olgún, E. A. G., Munguía, M. G., y Pérez, S. L. 2020. Modelo inteligente para monitoreo del desarrollo de plantas de maíz. *Tecnología Educativa Revista CONAIC*, 7(1), 13-18.
- Heino R and coauthors. 1999. Progress in the study of climate extremes in northern and central Europe. *Clim Change* 42: 151– 181.
- Hijmans, R. J. 2003. The effect of climate change on global potato production. *American journal of potato research*, 80(4), 271-279.
- IGM (Instituto Geográfico Militar). 2008. VIII Chile: Unidad. Atlas Mundial. Santiago: Instituto Geográfico Militar. 120p.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2011. Tierra Adentro. Especial cambio climático. N°93.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2013a. "Summary for Policymakers", *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, T.F. Stocker y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2013b. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, T.F. Stocker y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.
- IPCC. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. Summary for policymakers. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds) *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, p 7–22.
- Lambers, H., Chapin, F. S., and Pons, T. L. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, New York.
- Li, Y., Ye, W., Wang, M., and Yan, X. 2009. Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. *Climate research*, 39(1), 31-46.
- Lobell, D. B. and Field, C. B. 2007. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental research letters*, 2(1), 014002.
- Maletta, H. E. 2011. Bread of the Future: Climate Change, Agriculture and Food in Latin America (El Pan Del Futuro: Cambio Climático, Agricultura Y Alimentación En América Latina). *Debates en Sociología (Lima, Peru)*, (34), 117-176.
- Mendelsohn, R. and Dinar, A. 2009. *Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation, and Distributional Effects*. Cheltenham y Northampton, Edward Elgar Publishing.



- Mendoza, Y. 2009. Cambio climático: ¿amenaza u oportunidad para la agricultura peruana? Tecnología y Sociedad. Lima. Soluciones Prácticas.
- Montoliu Vidal, A. 2010. Respuestas fisiológicas de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Aspectos comunes y específicos. Universitat Jaume I.
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756.
- Navarro, L. A., Rivera Hernández, B., López Castañeda, A., Palma López, D. J., González Mancillas, R., and Juárez López, J. F. 2018. Áreas potenciales y vulnerabilidad del cultivo de café tipo robusta (*Coffea canephora* P.) al cambio climático en el estado de Tabasco, México. *Nova scientia*, 10(20), 369-396.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2013. Plan de adaptación al Cambio Climático del sector silvoagropecuario. Propuesta ministerial elaborada en el Marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012. Santiago, Chile.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2017. Agricultura chilena. Reflexiones y desafíos al 2030. Santiago de Chile, Ministerio de Agricultura, Oficina de Planificación Agrícola.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2019. Panorama de la agricultura Chilena. Ministerio del Medio Ambiente.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1997. Zonificación Agroecológica. Guía General. Boletín de Suelos de la FAO N°73. 82p.
- Osses-Araya, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, J. M., and Paneque, M. 2020. Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*, 54 (9), 4309–4330.
- Parmesan, C., and Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37-42.
- Parodi, P. G. 2019. Productividad frutícola en Chile Evolución y factores relevantes. Corporación de Estudios para Latinoamérica (CIEPLAN). <http://www.cieplan.org/productividad-fruticola-en-chile-evolucion-y-factores-relevantes/>. (Consultado 8 de noviembre 2020).
- Piikki, K., Winowiecki, L., Vågen, T. G., Parker, L., and Söderström, M. 2015. The importance of soil fertility constraints in modeling crop suitability under progressive climate change in Tanzania. *Procedia Environmental Sciences*, 29, 199-200.
- Ponce, R., Blanco, M., and Giupponi, C. 2014. The economic impacts of climate change on the Chilean agricultural sector: A non-linear agricultural supply model. *Chilean journal of agricultural research*, 74(4), 404-412.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of plant physiology*, 161(11), 1189-1202.
- Rojas, G., Fernandez, E., Whitney, C., Luedeling, E., and Cuneo, I. F. 2021. Adapting sweet cherry orchards to extreme weather events—Decision Analysis in support of farmers' investments in Central Chile. *Agricultural Systems*, 187, 103031.
- Román-Figueroa, C., Herrera, S., Cortez, D., Uribe, J. M., and Paneque, M. 2019. Methodology for the estimation of land suitability for *Atriplex* L. [Amaranthaceae Juss.(sl)] cultivation in arid and semi-arid regions. *Arid Land Research and Management*, 33(4), 412-426.
- Román-Figueroa, C., Padilla, R., Uribe, J. M., and Paneque, M. 2017. Land suitability assessment for camelina (*Camelina sativa* L.) development in Chile. *Sustainability*, 9(1), 154.
- Rosenzweig, C., A. Iglesias, X. Yang, P. Epstein and E. Chivian. 2001. Climate change and extreme weather events: Implications for food production, plant diseases, and pests, *Global Change Human Health*, 2(2), 90–104.
- Rossiter, D. G. 1996. A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma*, 72(3), 165-190.
- Santibáñez, F. 2001. El modelado del crecimiento, desarrollo y producción del maíz sobre bases ecofisiológicas mediante el modelo SIMPROC. *Revista Argentina de Agrometeorología* 1(1):7-16.
- Santibáñez, F., P. Santibáñez, R. Cabrera, L. Solís, M. Quiroz, and J. Hernández. 2008. Capítulo I. Resumen Ejecutivo. Impactos productivos en el sector silvoagropecuario de Chile frente a escenarios de cambio climático. En Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos, edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático. Centro de



- Agricultura y Medioambiente (AGRIMED), Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Schmidhuber, J., F. N. Tubiello. 2007. Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 19703–08.
- Schwartz, S. E. 1996. The whitehouse effect—Shortwave radiative forcing of climate by anthropogenic aerosols: An overview. *Journal of Aerosol Science*, 27(3), 359-382.
- Sheng, Y., Xu, X. 2019. The productivity impact of climate change: Evidence from Australia's Millennium drought. *Economic Modelling*, 76, 182-191.
- Soto Parra, Juan Manuel, Flores-Cordova, María Antonia, Sánchez Chávez, Esteban, Pérez Leal, Ramona, and Piña Ramírez, Francisco Javier. 2020. Compensadores de frío en manzano 'Golden Glory': desarrollo y producción. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(1), 69-82.
- Stefanos, N., Anastasios M. and Fotis, C. 2012. Climate change and agricultural productivity. *African journal of agricultural research*. 7. 4885-4893.
- Tubiello F. N., J.-F. Soussana and S. M. Howden. 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 19686–90.
- U.S. Geological Survey (USGS). 2020. Digital Elevation Model (DEM), 100m Resolution. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. (Consultado 2 de noviembre 2020).
- Uribe, J.M.; Cabrera, R.; de la Fuente, A.; Paneque, M. Atlas Bioclimático de Chile; Universidad de Chile: Santiago, Chile, 2012.
- Valenzuela Solano, C., Ruiz Corral, J. A., Ramírez Ojeda, G., and Hernández Martínez, R. (2014). Efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de Baja California, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(SPE10), 2047-2059.
- World Meteorological Organization (WMO). 2021. State of the global climate in 2020. Provisional report. Geneva, Switzerland. WMO-No. 1264.



MODELO PARA ESTIMACIÓN DE VARIACIONES EN LA SALINIDAD SECUNDARIA A PARTIR DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y NIVELES FREÁTICOS

MODEL FOR ESTIMATING VARIATIONS IN SECONDARY SALINITY BASED ON METEOROLOGICAL VARIABLES AND GROUND LEVELS

¹Soto J., ¹Cortez D. y ²Paneque M.

¹Fundación Bionostra Chile Research. Almirante Lynch 1179, San Miguel, Santiago, Chile.

²Laboratorio de Biotecnología Ambiental y Bioenergía – Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santa. Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile.

Autor para correspondencia: mpaneque@uchile.cl

RESUMEN

En contextos hiper-áridos como el Desierto de Atacama, los sistemas de humedales dependen de la cercanía a la superficie del nivel freático. Esta situación se observa en el humedal de Tilopozo, ubicado en el extremo sur del Salar de Atacama; el cual presenta presiones antrópicas por el bombeo de agua subterránea por diferentes actividades industriales. Factores como la variación en la profundidad del nivel freático y la evapotranspiración determinan el ascenso capilar; que a su vez, limitan la movilización de sales en el perfil del suelo, generando su acumulación final en la superficie. Cuando estos factores se alteran producto de acciones antrópicas, se pueden producir procesos de salinización secundarios. En este estudio se generó un modelo, para proyectar la variación de la salinidad en la superficie del suelo, en función de cambios potenciales del nivel freático. Para ello, se utilizaron diferentes ecuaciones que estimaron el ascenso capilar y la concentración de sales en Áreas Inmediatas Teóricas (AIT), representadas por un pozo y una calicata descriptora. Las ecuaciones utilizadas se alimentaron a partir de: i. profundidad de nivel freático obtenida desde una red de pozos; ii. evapotranspiración estimada, a partir de datos meteorológicos; y iii. concentración de sales a profundidad de raíz, obtenida desde calicatas descriptoras. Los resultados mostraron que, a pesar de una disminución del nivel freático proyectada a 2040, los cambios en el flujo capilar proyectaron, en promedio, una disminución de 7.536 mm (± 3.484). En tanto, las variaciones modeladas de la salinidad en superficie mostraron cambios marginales, respecto al presente y el contexto de un Salar, con una disminución media de 1.428 dS m⁻¹ (± 1.806). La propuesta metodológica del modelo puede ser utilizada para evaluar procesos de salinización en otros contextos productivos, como la agricultura.

Palabras clave: *Salinización de suelos, nivel freático, ascenso capilar, humedales, desierto.*

INTRODUCCIÓN

Los humedales corresponden a diversos tipos de sistemas de régimen natural o artificial, caracterizados por la presencia de agua, ya sea corrientes o detenidas, que están presentes de manera permanente o temporal; considerándose como transiciones entre ambientes permanentemente inundados y ambientes normalmente secos. En términos ecohidrológicos, los humedales de zonas hiper-áridas, se alimentan de flujos de agua transportados por quebradas o por el afloramiento de las aguas subterráneas. Pueden catalogarse como hidrohmedales, cuando presentan columnas de agua libre; o como higrohmedales cuando no presentan afloramientos de agua visibles, sino que esta se encuentra confinada al suelo (Brinson, 1993; Keddy, 2008; Lockaby, 2008; Vitt, 2008; Zedler, 2008).

La variación del nivel freático en estos lugares es fundamental, ya que junto a la evapotranspiración restringe el comportamiento del ascenso capilar (Kyei-Baffour, 2005; Guida-Johnson *et al.*, 2017). El ascenso capilar condiciona el transporte de agua hacia la superficie del suelo, y determina la humedad a nivel de raíz, afectando el crecimiento de la vegetación presente en los humedales (Soto *et al.*, 2019). Así mismo, la variación en el ascenso capilar también determina la movilización de las sales disueltas en el agua y/o presentes en el perfil de suelo, generando su ascenso cuando predomina la evapotranspiración en el sistema; o su lixiviación, cuando predominan las infiltraciones de agua producto



de eventos torrenciales y esporádicos de precipitación (Wang *et al.*, 1993; Song y Deng, 2000; Yang *et al.*, 2011).

El sistema de humedales de Tilopozo se ubica en la localidad homónima, situada en el extremo sur de la cuenca del Salar de Atacama, Chile. Los tres humedales que conforman el sistema (dos hidrohmedales y un higrohmedal), dependen de la descarga de flujos subterráneos de carácter permanente desde la sub-cuenca Monturaqui-Negrillar-Tilopozo (MNT), los que constituyen el principal aporte de agua al sistema natural; así como aportes superficiales temporales al existir precipitaciones intensas (Risacher *et al.*, 1999; DGA, 2014; Soto *et al.*, 2019).

El comportamiento natural y predominante del sistema Tilopozo, es la acumulación de sales en superficie, generando en función de las características de éstas, costras o depósitos (Jorenush y Sepaskhah, 2003; Guida-Johnson *et al.*, 2017). Los suelos de Tilopozo presentan niveles de salinidad que van desde 5.8 dS m⁻¹ (moderadamente salinos) a 223.0 dS m⁻¹ (extremadamente salinos; SGA, 2018; GAC; 2019); predominando concentraciones de cationes de Ca⁺, Mg⁺, K⁺ y particularmente Na⁺, así como aniones de Cl⁻. Esto se debe a la litología de la cuenca MNT, que se conforma por antiguas evaporitas bajo formaciones volcánicas y la descomposición de rocas volcánicas (Pimentel, 1976; Alonso y Risacher, 1996; DGA, 2004).

El intrincado equilibrio de las dinámicas ecológicas observadas en el sistema Tilopozo podrían estar en riesgo producto de la profundización observada y proyectada del nivel freático. Esto último se debe al bombeo de agua subterránea desde el acuífero MNT por diferentes actividades productivas (DGA, 2014; Soto *et al.*, 2019), lo que podría repercutir sobre el comportamiento natural del ascenso capilar y la posibilidad de movilizar sales a superficie. Debido a lo anterior, el presente estudio buscó generar un modelo de salinidad, que permitiese proyectar la variación de ésta en la superficie del suelo, en función de cambios potenciales del nivel freático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio correspondió al sistema de humedales de Tilopozo y su área adyacente, ubicada en la localidad homónima, que corresponde al punto de descarga de la sub-cuenca MNT, aportante a la cuenca del Salar de Atacama (DGA, 2014). La cuenca del Salar de Atacama se sitúa en la comuna de San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta, Chile (Figura 2).

En Tilopozo se encuentran suelos desprovistos de vegetación y con presencia de costras salinas, concreciones y/o acumulaciones de sal en la superficie. Esto se debe a las altas tasas evapotranspirativas del sector y la cercanía del nivel freático a la superficie del suelo (Risacher *et al.*, 1999; Soto *et al.*, 2019; Núñez-Salazar *et al.*, 2020). Existen puntos particulares donde el agua aflora a la superficie o se encuentra cercana a ella, lo que permite además el desarrollo de vegetación azonal, tanto higrófilas estrictas (cercanas a la columna libre de agua y en suelos saturados), como higrófilas transicionales (alrededor de las anteriores, y en suelos con altas tasa de ascenso capilar). Todo lo anterior constituye un sistema de humedales freatogénicos de descarga (Soto *et al.*, 2019).

Variación de ascenso capilar

Se estimó el efecto de la disminución del nivel freático sobre la variación en el ascenso capilar y sobre la salinidad secundaria de los suelos. Para ello, se seleccionó una serie de punteras y pozos de observación presentes en el sistema de humedales, que permiten describir apropiadamente el comportamiento del nivel freático (Soto *et al.*, 2019).

Luego, en función del nivel freático promedio anual para cada pozo y puntera, se estimó la variación del ascenso capilar (ΔG) producto de la profundización de la tabla de agua, mediante la ecuación de Averyanov, modificada por Yang *et al.* (2011):



$$\begin{aligned} \Delta G &= Etp \left(1 - \frac{h_x}{h_0}\right)^\eta & \text{Si: } & h_x < h_0 \\ \Delta G &= 0 & \text{Si: } & h_x \geq h_0 \end{aligned} \quad (1)$$

Donde;

- ΔG : Variación del ascenso capilar medio (mm).
- Etp : Evapotranspiración media anual (mm).
- h_x : Profundidad media anual del nivel freático para un pozo o puntera determinado (mm).
- h_0 : Profundidad de extinción de evaporación, cuando el agua subterránea no se ve afectada por capilaridad (propuesto en 3,500 mm para zonas áridas y 10,000 mm para suelos limosos; mm).
- η : Índice de relación suelo-clima (1-3; siendo 3 para zonas áridas).

La profundidad media anual del nivel freático se obtuvo a partir de datos observados que son reportados en los planes de monitoreo ambiental del sector Tilopozo (2000-2019), mientras que los datos proyectados hasta 2150 se obtuvieron desde información pública asociada a proyectos de inversión sometidos al proceso de evaluación ambiental (GCF Ingenieros LTDA., 2021).

La profundidad de extinción de evaporación, se estableció en función de bibliografía en un promedio de 3,500 mm de profundidad, exceptuando los sitios con suelos limosos donde se consideró 10,000 mm (Dexter y Zoebisch, 2006; Rengasamy, 2006; Podmore, 2009). La diferenciación de la clase textural limosa se obtuvo desde calcatas descriptoras (Figura 2; SGA, 2018; GAC; 2019).

Los datos de evapotranspiración media anual para la zona de Tilopozo entre 2000 y 2019 fueron calculados en función del método propuesto por Samani (2000), utilizando la información de temperaturas diarias (mínima, máxima, media) y radiación solar diaria, de la estación meteorológica Peine (23°41'03"; 68°03'29"; 2460 msnm) de la Dirección General de Agua (DGA), ubicada 20 km al norte de Tilopozo. Se obtuvo un valor mensual multiplicando por el número de días de cada mes, y finalmente un valor anual (discriminando años bisiestos), sobre el que se determinó el promedio siguiendo lo propuesto por Soto *et al.* (2019). Luego, los datos se proyectaron hasta el año 2150, mediante la repetición permanente del período conocido.

Posteriormente, mediante el uso de Áreas Inmediatas Teóricas (AIT), se generó un área representativa del ascenso capilar medio y nivel freático medio anual de cada puntera y pozo (Figura 3A). Esto se determinó a partir de la construcción geométrica de su área de representatividad con respecto a sus vecinos, trazando perpendicularmente bisectrices entre las mismas, dando origen a los polígonos (Ramírez y Sendra, 1997; Li y Heap, 2011; Fernández *et al.*, 2017; Fonseca *et al.*, 2018). Entonces, todos los sectores localizados al interior de los polígonos trazados, se consignan al pozo o puntera de observación, más cercana en términos de distancia euclidiana (Calvo-Valverde, 2015; Singh y Fábrega, 2016).

Variación de acumulación de sal en suelos

Conociendo la variación del ascenso capilar producto del descenso del nivel freático para cada pozo y puntera de observación, y sabiendo que el ascenso capilar puede considerarse como una percolación negativa en ausencia de aportes (infiltraciones) permanentes; se determinó la variación de acumulación salina en la superficie del suelo (ΔZ) producto del transporte capilar a partir de la ecuación de van Hoorn y van Alphen (1994):

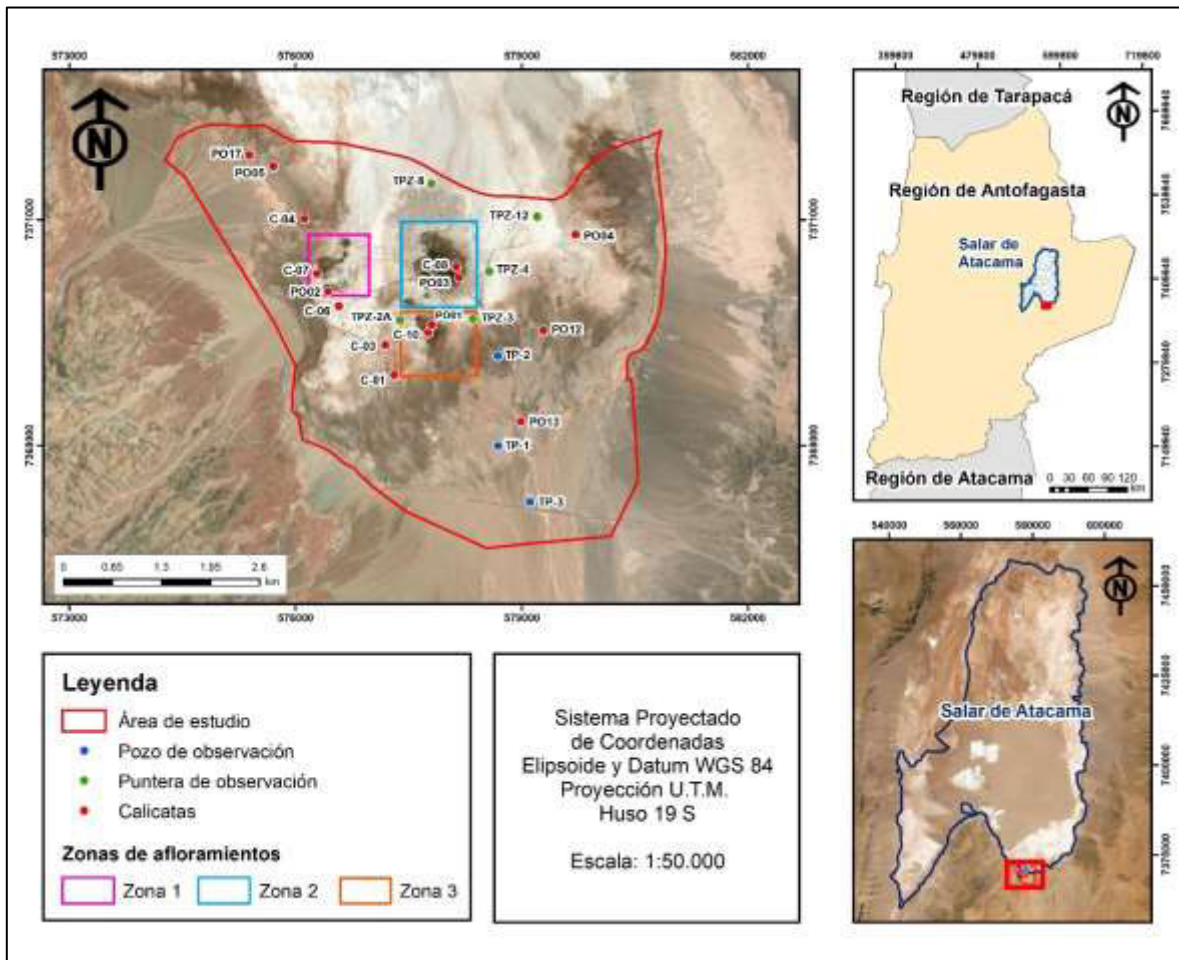


Figura 2. Área de estudios correspondiente al sistema de humedales de Tilopozo con sus tres afloramientos de agua inserto en el borde sur del Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Se indica ubicación de pozos y punteras de observación, así como calicatas descriptoras en sistema Tilopozo.

$$\Delta Z = \frac{\Delta G * EC_{xr}}{h_x} \quad (2)$$

Donde;

- ΔZ : Variación de acumulación de sales en la superficie del suelo ($dS\ m^{-1}$), para $G \neq 0$.
- ΔG : Variación del ascenso capilar medio (mm).
- EC_{xr} : Salinidad del suelo promedio a nivel de las raíces ($dS\ m^{-1}$).
- h_x : Profundidad promedio del nivel freático para un pozo o puntera (mm).

Utilizando AIT, también se determinó una aproximación del área representativa de la salinidad del suelo promedio a nivel de las raíces (Figura 3B). Este valor se obtuvo en función de las calicatas descriptoras (Figura 2; SGA, 2018; GAC, 2019), apoyado además con la descripción de campo que estableció la profundidad de las raíces. Posteriormente, se interceptaron los polígonos representativos del ascenso capilar y nivel freático medio anual (Figura 3A), con los de salinidad media de raíz (Figura 3B), para determinar polígonos de concentración salina en la superficie del suelo (Figura 4).

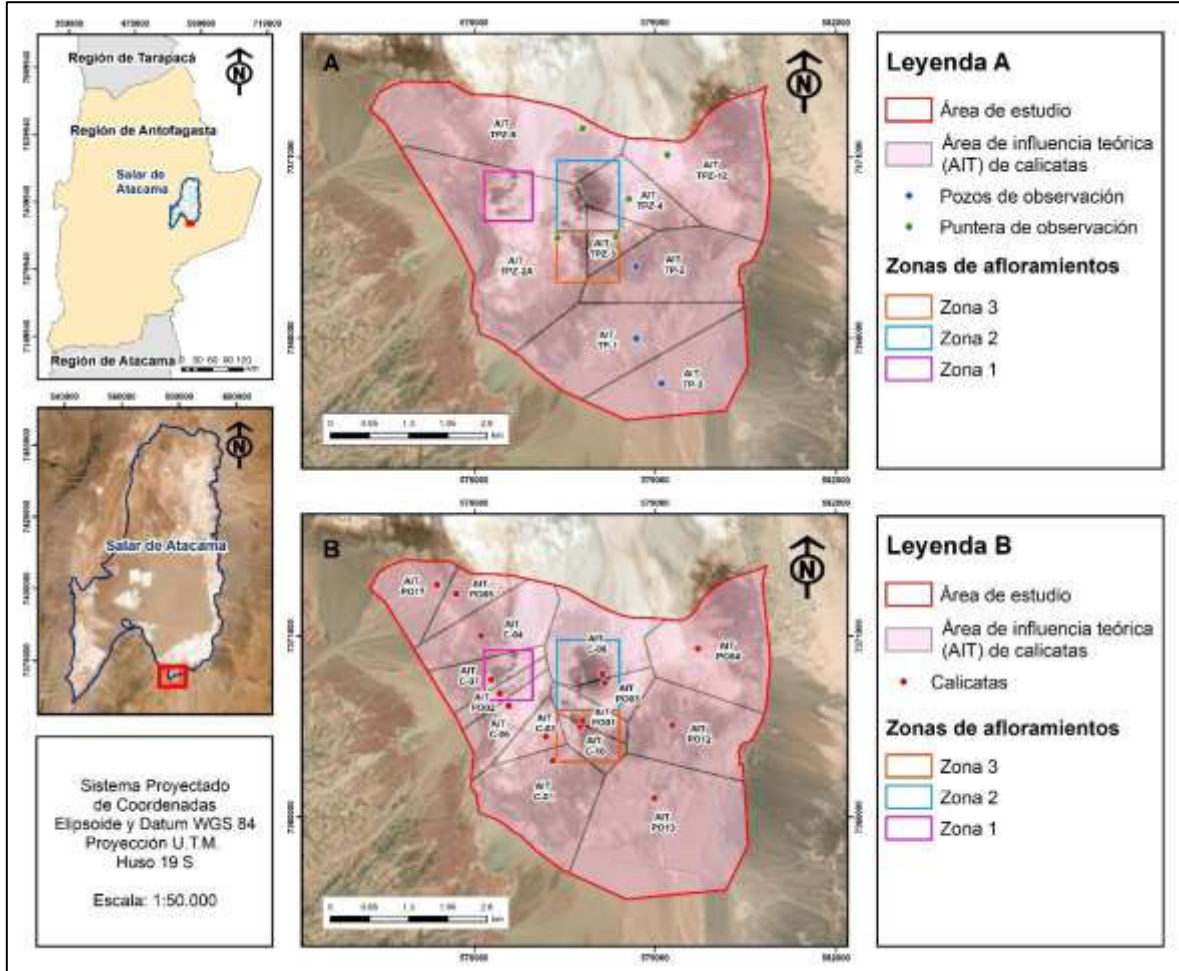


Figura 3. Áreas teóricas inmediatas (AIT) de pozos y punteras pozos de observación considerados para la determinación del ascenso capilar medio (G), nivel freático medio (h_x) (A) y salinidad del suelo promedio a nivel de las raíces (EC_{xr}) (B) en Tilopozo.

Finalmente, para el período proyectado con el máximo descenso del nivel freático (2040; GCF Ingenieros LTDA., 2021), se comparó el comportamiento del ascenso capilar (ΔG) y acumulación de sal (ΔZ), respecto a la última medición de campo (2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación del ascenso capilar

Se determinó el comportamiento del ascenso capilar medio anual, en el período 2000-2150. La mayor disminución se observó en 2040, coincidente con el máximo descenso del nivel freático proyectado (GCF Ingenieros LTDA., 2021). Posteriormente, se recuperaría a partir de 2041 y se estabilizaría a partir de 2043 (Figura 5). En consecuencia, la máxima variación de ascenso capilar se observó entre los valores de los años 2019 (observado) y 2040 (proyectado). Esto cambió según AIT, entre una disminución máxima de -11.569 mm y una mínima de 0.000 mm, con un promedio de -7.536 mm (Figura 5; Cuadro 1).

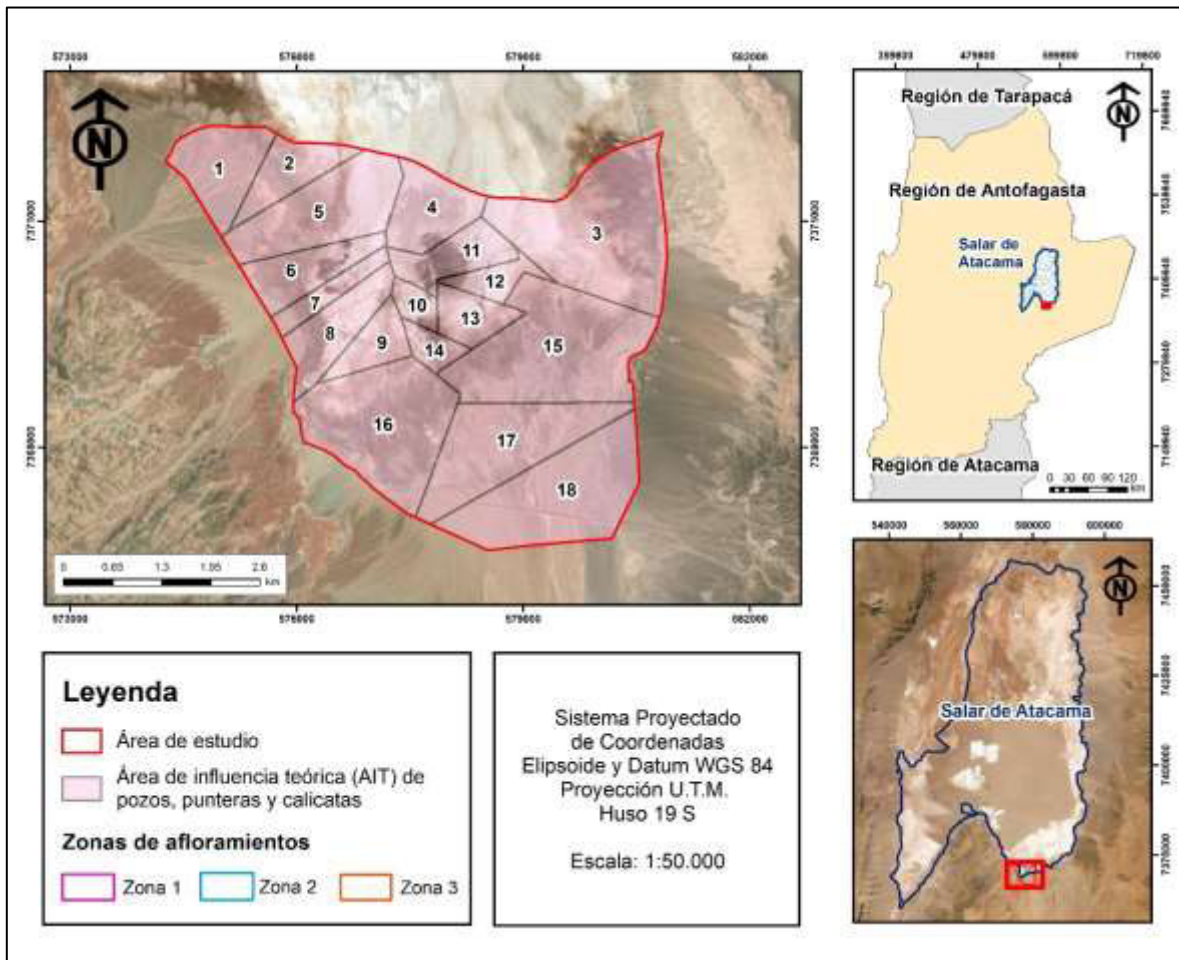


Figura 4. Polígonos de concentración salina en la superficie del suelo (ΔZ) de Tilopozo, producto de la intersección de las ATI de pozos y punteras, con la ATI de calicatas descriptoras.

Las AIT con mayor variación fueron aquellas compuestas por las punteras TPZ-2A, TPZ-4 y TPZ-8; mientras que, las de menor variación, distinta de cero, fueron las compuestas por la puntera TPZ-12 y el pozo TP-2. Estas últimas debido a la mayor profundización del nivel freático (Figura 5; Cuadro 1).

Tanto la profundización del nivel freático, como la recarga aleatoria por precipitación, inciden en la disminución de la conductividad capilar (Prathapar *et al.*, 1991; van Hoorn y van Alphen, 1994), complicando la movilización de sales desde la profundidad hacia la superficie (Kyei-Baffour, 2005). Esta situación no se afecta por las características salinas de las aguas subterráneas (Kyei-Baffour *et al.*, 2004). No obstante, los altos niveles evapotranspirativos en zonas hiper-áridas, como lo observado en Tilopozo, atenúan la disminución de capilaridad producto de la profundización del nivel freático (Risacher *et al.*, 1999; Soto *et al.*, 2019; Núñez-Salazar *et al.*, 2020).

La profundidad a la cual la atmósfera es capaz de propiciar el ascenso capilar, varía en función de la clase textural del suelo, siendo mayor en suelos de texturas finas (Prathapar *et al.*, 1991; Calvo *et al.*, 1993; van Hoorn y van Alphen, 1994), como se observó en las AIT asociadas a las calicatas C-04, C-07, C-10, PO05 y PO12 (Cuadro 1). La evaporación del agua en la superficie del suelo varía según las condiciones ambientales (Kyei-Baffour, 2005), las que se limitan a la temperatura, precipitación, velocidad del viento y nivel de radiación solar (Hargreaves y Samani, 1985; Samani, 2000). Esto también se suma a las propiedades hidráulicas del suelo (Prathapar *et al.*, 1991; Calvo *et*

al., 1993; Guida-Johnson *et al.*, 2017), determinando flujos preferenciales cuando existen espacios entre agregados y/o grietas en el perfil, alentando el movimiento tanto del agua como de las sales (Prathapar *et al.*, 1991; Kyei-Baffour, 2005).

Las AIT de los pozos TP-1 y TP-3 presentaron un flujo capilar de 0.000 mm (Figura 5; Cuadro 1). Esto último, se debió a que el nivel freático de los pozos se encontró a una profundidad mayor a los 10,000 mm, que supera la profundidad de extinción de evaporación (Dexter y Zoenisch, 2006; Rengasamy, 2006; Podmore, 2009).

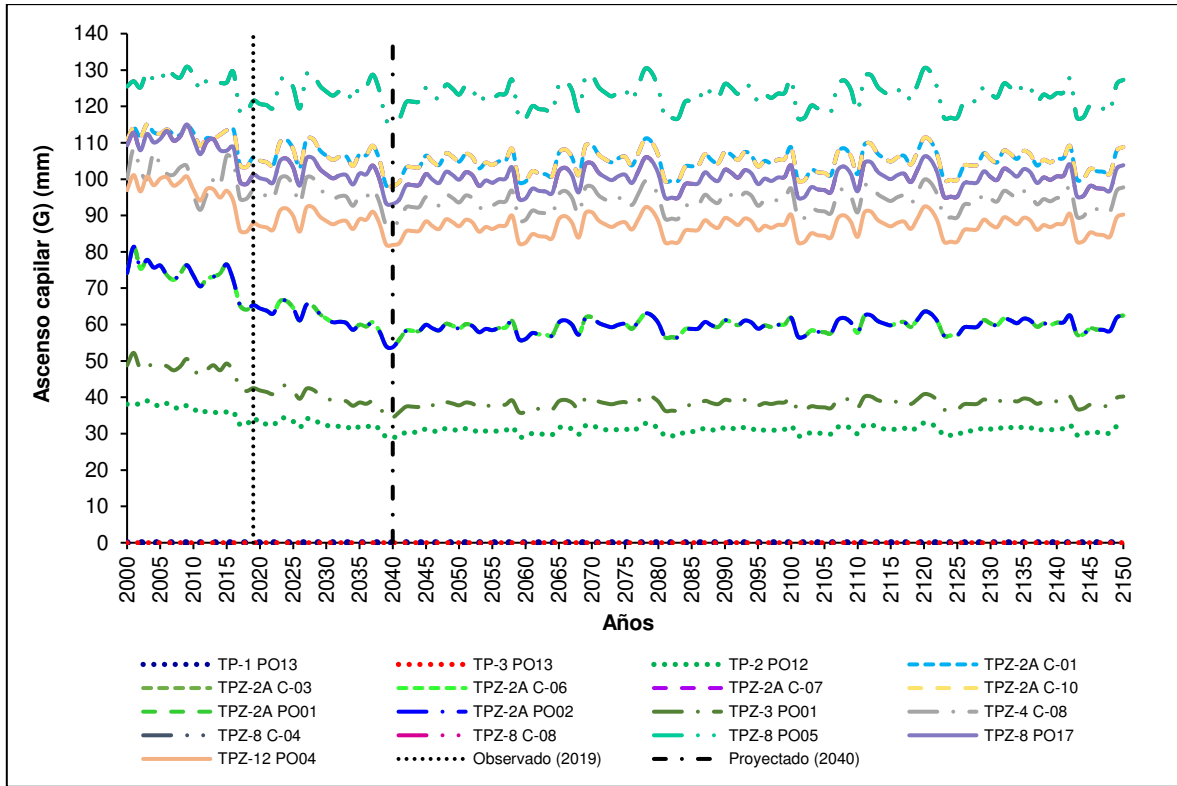


Figura 5. Comportamiento del ascenso capilar (G) (mm) según AIT, para período 2000-2150.

Variación de acumulación de sal en suelos

En sistemas naturales de zonas hiper-áridas, la salinidad superficial y la sodicidad de los suelos están controlados por la variación del ascenso capilar, la velocidad de evaporación (Kyei-Baffour, 2005), la textura de los suelos y la acumulación de sal a nivel raíz (van Hoorn y van Alphen, 1994; Yang *et al.*, 2011).

A nivel superficial, el suelo presentó un frente de secado donde la pérdida de agua se produce básicamente por su traspaso en forma de vapor a la atmósfera. La demanda evaporativa de un suelo también depende de la humedad disponible del mismo, la cual, al reducirse, propicia la disminución de la tasa evaporativa hasta dejar el perfil seco (Kyei-Baffour, 2005). Durante el proceso de secado, el agua y las sales disueltas, se movilizan desde las capas inferiores a las superiores, elevando el contenido de sal en superficie debido a la pérdida del agua (Prathapar *et al.*, 1991; Kyei-Baffour, 2005; Coras *et al.*, 2014).



Cuadro 1. Comportamiento del ascenso capilar (G) (mm) en la serie histórica (2000-2019) y máxima variación (ΔG) entre 2019-2040, según AIT.

AIT	Promedio histórico (2000-2019) (mm)	Desvest. histórica (2000-2019) (mm)	Ascenso capilar en 2019 (mm)	Ascenso capilar en 2040 (mm)	Diferencia estimada (2019-2040) (mm)
TPZ-8 PO17	108.837	4.444	101.143	93.176	-7.967
TPZ-8 PO05*	126.352	3.444	121.538	116.090	-5.448
TPZ-12 PO04	96.158	4.716	87.784	81.911	-5.873
TPZ-8 C-08	108.837	4.444	101.143	93.176	-7.967
TPZ-8 C-04*	126.352	3.444	121.538	116.090	-5.448
TPZ-2A C-07*	111.346	3.334	105.987	98.140	-7.847
TPZ-2A PO02	73.209	4.288	65.347	53.778	-11.569
TPZ-2A C-06	73.209	4.288	65.347	53.778	-11.569
TPZ-2A C-03	73.209	4.288	65.347	53.778	-11.569
TPZ-2A PO01	73.209	4.288	65.347	53.778	-11.569
TPZ-4 C-08	100.531	4.619	96.918	87.077	-9.842
TPZ-4 PO03	100.531	4.619	96.918	87.077	-9.842
TPZ-3 PO01	47.551	2.623	42.512	34.440	-8.071
TPZ-2A C-10*	111.346	3.334	105.987	98.140	-7.847
TP-2 PO12*	36.553	1.824	34.363	28.986	-5.377
TPZ-2A C-01	111.346	3.334	105.987	98.140	-7.847
TP-1 PO13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TP-3 PO13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Promedio	82.143	3.407	76.845	69.309	-7.536
Desvest	38.998	1.460	37.551	36.148	3.484
Mínimo	0.000	0.000	0.000	0.000	-11.569
Máximo	126.352	4.716	121.538	116.090	0.000

* Suelos limosos.

La máxima variación de acumulación de sal en suelos se observó entre los años 2019 (observado) y 2040 (proyectado), con una máxima de -5.829 dS m^{-1} y una mínima de 0.000 dS m^{-1} (Cuadro 2; Figura 6). Estos cambios fueron marginales respecto del contexto ecológico, donde existen suelos altamente salinos (Jorenush y Sepaskhah, 2003; Kyei-Baffour, 2005; Guida-Johnson *et al.*, 2017).

La mayor disminución en la acumulación de sal (2019-2040) se observó sobre las AIT TPZ-8 PO05, TPZ-8 C-04 y TPZ-8 C-08, que exhibieron variaciones de -5.829 , -4.945 y -3.292 dS m^{-1} , respectivamente. Por el contrario, las AIT compuestas por las calicatas PO01 y PO12, presentaron la menor variación con -0.067 y -0.068 dS m^{-1} , respectivamente (Cuadro 2; Figura 6).

El agua subterránea poco profunda tiene un rol preponderante en la salinización secundaria de los suelos (Song y Deng, 2000; Yang *et al.*, 2011). Wang *et al.* (1993) demostraron que el aumento del nivel freático incrementa la capilaridad, generando mayor salinización secundaria. Por el contrario, la capilaridad de los suelos disminuye a mayor profundidad del agua subterránea (Ming, 2006; Dexter y Zoenisch, 2006; Yang *et al.*, 2011), por lo tanto disminuye la salinización secundaria. En consecuencia, se incrementa la salinidad secundaria en respuesta a niveles freáticos poco profundos (Rengasamy, 2006; Northey *et al.*, 2006; Coras *et al.*, 2014).

Por el contrario, en el humedal de Tilopozo, la disminución de la salinidad proyectada, se ve atenuada por la profundidad de extinción de la evaporación (3,500 mm para zonas áridas y 10,000 mm en suelos limosos). Esto se debió a que las altas tasas evapotranspirativas, producto de altos niveles de radiación solar que alcanzan un promedio de 7.22 kWh m^{-2} ; los que incentivan la movilización de sales desde mayor profundidad (Aceituno, 1996; Espinoza y Romero, 2015; Soto *et al.*, 2019; MinEnergía, 2021).



Cuadro 2. Comportamiento de la acumulación de sal (Z) (dS m^{-1}) en la serie histórica (2000-2019) y máxima acumulación secundaria (ΔZ) entre 2019-2040, según AIT.

ATI	Promedio histórico (2000-2019) (dS m^{-1})	Desvest. histórica (2000-2019) (dS m^{-1})	Acumulación de sal (Z) en 2019 (dS m^{-1})	Acumulación de sal (Z) proyectada en 2040 (dS m^{-1})	Máxima variación de acumulación de sal (ΔZ) (2019-2040) (dS m^{-1})	Salinidad de referencia en calicatas (dS m^{-1})
TPZ-8 PO17	14.037	2.025	10.574	8.235	-2.339	32.400
TPZ-8 PO05	38.756	4.941	30.276	24.448	-5.829	77.200
TPZ-12 PO04	5.013	0.687	3.822	3.271	-0.551	19.900
TPZ-8 C-08	19.756	2.849	14.883	11.590	-3.292	45.600
TPZ-8 C-04	32.882	4.192	25.688	20.742	-4.945	65.500
TPZ-2A C-07	1.176	0.112	0.985	0.760	-0.225	6.900
TPZ-2A PO02	1.460	0.189	1.145	0.785	-0.360	32.400
TPZ-2A C-06	1.977	0.256	1.550	1.062	-0.488	17.600
TPZ-2A C-03	2.864	0.371	2.245	1.539	-0.706	25.500
TPZ-2A PO01	0.696	0.090	0.546	0.374	-0.172	6.200
TPZ-4 C-08	13.773	2.458	12.451	9.097	-3.354	45.600
TPZ-4 PO03	6.011	1.073	5.434	3.970	-1.464	19.900
TPZ-3 PO01	0.285	0.025	0.237	0.171	-0.067	6.200
TPZ-2A C-10	1.006	0.096	0.843	0.650	-0.193	5.900
TP-2 PO12	0.338	0.024	0.310	0.242	-0.068	32.800
TPZ-2A C-01	8.607	0.818	7.212	5.562	-1.650	50.500
TP-1 PO13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	130.000
TP-3 PO13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	130.000
Promedio	8.258	1.123	6.567	5.139	-1.428	40.594
Desvest	11.595	1.536	9.061	7.277	1.806	38.580
Mínimo	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.829	5.900
Máximo	38.756	4.941	30.276	24.448	0.000	130.000

CONCLUSIONES

El contexto hiper-árido en donde se ubica Tilopozo, propició que el movimiento de aguas en el perfil sea ascendente, con descarga hacia la atmósfera, cobrando relevancia la variable ascenso capilar. Esta dependió de la evapotranspiración del sector, y fue potenciada por efecto de la cercanía a la superficie del nivel freático. En consecuencia, el ascenso capilar determinó la movilización de las sales desde la profundidad del perfil, hacia la superficie, lo que facilitó su concentración. Esto quedó en evidencia, al observar los altos niveles de salinidad que presentaron los suelos de Tilopozo a nivel de superficie (moderadamente a extremadamente salinos), en donde además se observaron acumulaciones y concreciones.

Las modelaciones realizadas, mostraron una disminución paulatina y marginal, del ascenso capilar. La máxima diferencia observada se presentó en la comparación 2019-2040, coincidente con el máximo descenso del nivel freático proyectado. Se observó una disminución máxima de -11.569 mm en 2040 y un promedio anual de -7.536 mm, ambos respecto a 2019. En términos de locación, la mayor diferencia se presentó en las AIT compuestas por la puntera TPZ-2A y las calicatas PO01, PO02 y PO03; mientras que en las AIT conformadas por los pozos TP-1 y TP-3 no registrarían cambios (0.000 mm). Esto último, se debió a que la profundidad del nivel freático fue mayor a los 10,000 mm, que superó la profundidad de extinción de evaporación.

En tanto, la variación de la salinización secundaria de los suelos, estuvo condicionada por la variación del ascenso capilar, pero de modo determinante, por la textura de los suelos, la acumulación de sal a nivel raíz y la evapotranspiración. La acumulación de sal en la superficie del perfil, presentó variaciones marginales, en función del contexto ecológico, el cual contó con suelos altamente salinos. La máxima diferencia observada (2019-2040) correspondió a una disminución de -7.550 dS m^{-1} , mientras que la mínima variación fue de 0.000 dS m^{-1} , con un promedio de -3.844 dS m^{-1} . Las mayores diferencias se observaron en las AIT TPZ-8 PO05, TPZ-8 C-04, TPZ-4 C-08, TPZ-8 C-08 y TPZ-8 PO17. En tanto, la menor variación, distinta de cero, se presentó en la AIT TPZ-3 PO01, con diferencia de 0.010 dS m^{-1} .

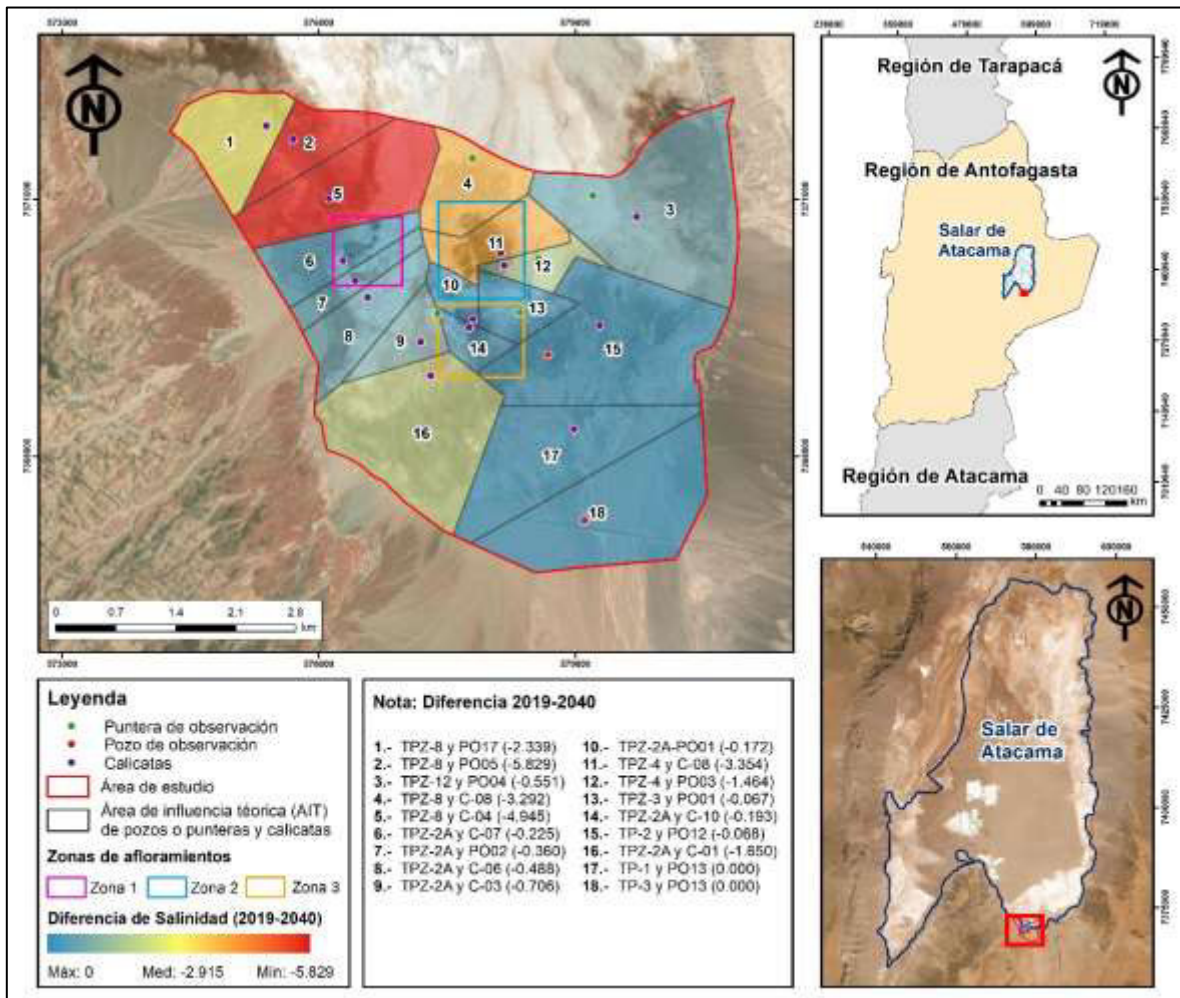


Figura 6. Máxima diferencia (2019-2040) de acumulación de sal (ΔZ) (dS m^{-1}) estimada según AIT.

En definitiva, fue posible demostrar que, a pesar de que se incremente la distancia entre la superficie del suelo y el nivel freático, continúa existiendo ascenso capilar, y por tanto movilización de sales en el sistema suelo; con descensos marginales producto de los altos niveles de evapotranspiración en la zona. La disminución en la acumulación, no suponen una pérdida de las sales ya acumuladas en superficie, por lo que no variarán los parámetros actuales; y no supondrán afectaciones tanto al ecosistema suelo como tal, ni al sustento y soporte de las comunidades vegetacionales en superficie. El modelo propuesto, utilizando ecuaciones simples y espacializándolo mediante AIT, puede ser una aproximación útil para ser empleado en otras aplicaciones y evaluaciones, como por ejemplo en el monitoreo ambiental de ecosistemas sensibles, áreas con niveles freáticos cercanos a superficie, campos de producción silvoagropecuaria, o incluso el monitoreo de sitios destinados a la instalación de superestructuras sensibles a la humedad y/o salinidad.

LITERATURA CITADA

- Aceituno, P. 1996. Elementos del clima en el Altiplano Sudamericano. Revista Geofísica-PGH, 44: 37-55.
- Alonso, H. and Risacher, F. 1996. Geoquímica del Salar de Atacama, parte 1: origen de los componentes y balance salino. Revista Geológica de Chile, 23 (2): 113-122.



- Brinson, M. 1993. A hydrogeomorphic classification for wetlands, WRP-DE-4. U.S. Army Engineer Research and Development Center and Carolina University. Washington DC., United States of America. 103 p.
- Calvo, L., Rendón, L., Palacios, O., Acosta, R. y Hernández, R. 1993. Desarrollo, evaluación y aplicación de un modelo hidrológico para el riego por melgas. *Agronomía Costarricense*, 17 (2): 7-19.
- Calvo-Valverde, L. 2015. Evaluación de diversos modelos de interpolación espacial para la estimación de la precipitación promedio en la cuenca alta de río Toro. *Jornadas de la Red Iberoamericana para el Monitoreo y Pronóstico de Fenómenos Hidrometeorológicos (PROHIMET)*. 20 p.
- Coras, P., Ontiveros, R. y Diakite, L. 2014. Movimiento del agua freática y concentración de sales en suelos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (4): 537-548.
- Dexter, A. and Zebisch, M. 2006. Degradation: Critical Limits of Soil Properties and Irreversible Degradation. *In: Lal, R. (ed). Encyclopedia of Soil Science*. Taylor & Francis Group, New York, United States of America. pp: 411-418.
- Dirección General de Aguas (DGA-Chile). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile. 78 p.
- Dirección General de Aguas (DGA-Chile). 2014. Diagnóstico y sistematización de información de planes de alerta temprana vigentes con condicionamiento de derechos. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile. 534 p.
- Espinoza, P. y Romero H. 2015. Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 62: 169-183.
- Fernández, R., Franco, J.M. y García, C. 2017. Efecto del clima en el ciclo biológico del zancudo (*Aedes aegypti* L.), en cuatro zonas geográficas de El Salvador. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. El Salvador. 71 p.
- Fonseca, K., Mercy, C., Bustillos, L., Barbosa, S. y Iza, A. 2018. Comparación de métodos de interpolación para la estimación de temperatura del Reservorio CEASA. *Revista de la Ciencia*, 3 (1): 57-68.
- GCF Ingenieros Ltda. 2021. Proyecto: Continuidad Operacional Compañía Minera Zaldívar. Compañía Minera Zaldívar SpA., Antofagasta - Minerals. Santiago, Chile. 414 p.
- Gestión Ambiental Consultores (GAC). 2019. Línea de Base Complementaria Caracterización Físico-Química del Suelo. Proyecto: Continuidad Operacional Compañía Minera Zaldívar. Compañía Minera Zaldívar SpA., Antofagasta - Minerals. Santiago, Chile. 23 p.
- Guida-Johnson, B., Abraham, E. y Cony, M. 2017. Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49 (1): 205-215.
- Hargreaves, G., and Samani, Z. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1 (2): 96-99.
- Jorenush, M. and Sepaskhah, A. 2003. Modelling capillary rise and soil salinity for shallow saline water table under irrigated and non-irrigated conditions. *Agricultural Water Management*, 61: 125-141.
- Keddy, P. 2008. Freshwater Marshes. *In: Jørgensen, S. (ed). Ecosystem Ecology*. Elsevier B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp: 274-281.
- Kyei-Baffour, N. 2005. The Effect of Quality of Rising Capillary Water on Soil Surface Sodicity. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 8 (4): 1-13.
- Kyei-Baffour, N., Rycroft, D. and Tanton, T. 2004. The impacts of sodicity on soil strength. *Irrigation and Drainage*, 53: 77-85.
- Li, J. and Heap, A. 2011. A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: performance and impact factors. *Ecological Informatics*, 3 (6): 228-241.
- Lockaby, B., Conner, W. and Mitchell, J. 2008. Floodplains. *In: Jørgensen, S. (ed). Ecosystem Ecology*. Elsevier B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp: 253-263.
- Ming, D. 2006. Carbonates. *In: Lal, R. (ed). Encyclopedia of Soil Science*. Taylor & Francis Group, New York, United States of America. pp: 202-208.
- Ministerio de Energía (MinEnergía-Chile). 2021. Explorador solar. <http://solar.minenergia.cl/exploracion> (Consultado 13 de agosto 2021).



- Northey, J., Christen, E., Ayars, J. and Jankowski, J. 2006. Occurrence and measurement of salinity stratification in shallow groundwater in the Murrumbidgee Irrigation Area, south-eastern Australia. *Agric Water Manag*, 81: 23–40.
- Núñez, R., Aguirre, C., Soto, J., Salinas, P., Salinas, C., Prieto, H. and Paneque, M. 2020. Physicochemical Parameters Affecting the Distribution and Diversity of the Water Column Microbial Community in the High-Altitude Andean Lake System of La Brava and La Punta. *Microorganisms*, 8 (8): 1-24.
- Pimentel, F. 1976. Informe geológico resumido: Area San Pedro de Atacama. *Estudios Atacameños*, 4: 13-17.
- Podmore, C. 2009. Dryland salinity – causes and impacts. State of New South Wales through Department of Industry and Investment (Industry & Investment NSW). Sydney, Australia. 6 p.
- Prathapar, S., Robbins, C., Meyer, W. and Jayawardane, N. 1991. Models for estimating capillary rise in a heavy clay soil with a saline shallow water table. *Irrigation Science*, 13: 1-7.
- Ramírez, R. y Sendra, J. 1997. Comparación de métodos de cálculo para la obtención de la variable precipitación en un SIG. *Estudios Geográficos*, 58 (226): 227-255.
- Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal Exp Bot.*, 57: 1017–1023.
- Risacher, F., Alonso, H. y Salazar, C. 1999. Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones – Chile. Universidad Católica del Norte. Antofagasta, Chile. 299 p.
- Samani, Z. 2000. Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126 (4): 265-267.
- Singh, M. y Fábrega, J. 2016. Aproximación espacial de concentraciones de gases producto de fuentes móviles de la ciudad de Panamá, utilizando Sistemas de Información Geográfica. *Revista I+D Tecnológico*, 12(2): 68-78.
- Soluciones en Gestión Ambiental (SGA). 2018. Línea base caracterización físico- química del suelo: Proyecto: Continuidad Operacional Compañía Minera Zaldívar. Compañía Minera Zaldívar SpA., Antofagasta - Minerals. Santiago, Chile. 65 p.
- Song, C. and Deng, W. 2000. Characters of groundwater and influence on the interior salt-affected soil in the west of Jilin province. *Sci Geogr Sin.*, 20:246–250.
- Soto, J., Román-Figueroa, C. and Paneque, M. 2019. A Model for Estimating the Vegetation Cover in the High-Altitude Wetlands of the Andes (HAWA). *Land*, 8 (1): 1 – 17.
- van Hoorn, J. and van Alphen, J. 1994. Salinity control. *In: Pitzema, H.P. (Ed.), Drainage principles and applications*. 2nd ed. ILRI Publication 16. Wageningen, The Netherlands. pp: 533-600.
- Vitt, D. 2008. Peatlands. *In: Jørgensen, S. (ed). Ecosystem Ecology*. Elsevier B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp: 330-339.
- Wang, Z., Zhu, S., and Yu, R. 1993. The saline soil in China. Science Press. Beijing, China. 573 p.
- Yang, F., Zhang, G., Yin, X., Liu, Z. and Huang, Z. 2011. Study on capillary rise from shallow groundwater and critical water table depth of a saline-sodic soil in western Songnen plain of China. *Environ Earth Sci.*, 64: 2119–2126.
- Zedler, B., Bonin, C., Larkin, D. and Varty, A. 2008. Salt Marshes. *In: Jørgensen, S. (ed). Ecosystem Ecology*. Elsevier B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp: 384-393.



Sección D: Biotecnología



INTEGRACIÓN DE VARIABLES DE CALIDAD EN DNA DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN

INTEGRATION OF QUALITY VARIABLES IN DNA FROM COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) TO ESTIMATE THE CONCENTRATION

¹De León-Rodríguez Juan Luis, ¹Guzmán-Rodríguez Luis Felipe, ¹Cruz-Cárdenas Carlos Iván,
¹Pichardo-González Juan Manuel y ¹Cortés-Cruz Moisés Alberto.

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) del INIFAP. Boulevard de la Biodiversidad Núm.
400. Col. Rancho las Cruces, C.P. 47600. Tepatitlán de Morelos Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: guzman.luis@inifap.gob.mx

RESUMEN

La calidad de los ácidos nucleicos es un factor importante a tomar en cuenta cuando el objetivo es realizar una caracterización genotípica. De la misma manera, la concentración de los materiales influye al realizar una estandarización de un protocolo y para llevar a cabo el ajuste de la concentración es necesario tomar como punto de partida los datos obtenidos al evaluar la calidad, con técnicas como espectrofotometría y fluorimetría. Estas técnicas permiten determinar la concentración de DNA, sin embargo, la especificidad y sensibilidad de la fluorimetría la vuelve más confiable en las mediciones si se requiere ajustar los materiales a una concentración conocida. Una desventaja, es el costo de los reactivos para llevar a cabo la fluorimetría, sobre todo cuando la cantidad de muestras es elevada. Con el objetivo de obtener mediciones de la concentración de DNA con mejor precisión y optimizando recursos, se realizó la integración de variables de concentración y calidad de los ácidos nucleicos mediante análisis de regresión lineal múltiple de la concentración, pureza e integridad del DNA. Con esta estrategia, se podrán llevar a cabo estudios de caracterización con DNA de buena calidad e integridad sin la necesidad de invertir reactivos con alto costo.

Palabras clave: *espectrofotometría, fluorometría, ácidos nucleicos, pureza, integridad.*

INTRODUCCIÓN

La caracterización genotípica de los recursos genéticos vegetales y animales se realiza mediante diferentes tipos de marcadores moleculares (MM). Para la identificación de los MM se requiere partir de suficiente cantidad y calidad de DNA. Por esta razón, el proceso de cuantificar la concentración de los ácidos nucleicos es fundamental (Ríos *et al.*, 2009).

La espectrofotometría es una técnica que permite conocer la cantidad de un soluto en solución. El fundamento consta de pasar cierta cantidad de luz a través de la solución y medir la luz que llega a un detector, la diferencia de valores corresponde a la cantidad absorbida por las moléculas dispersas y de manera indirecta, la concentración de la sustancia de interés (Delgado, 2011). A través de esta metodología, es posible determinar la concentración de ADN disuelto en agua o en una solución buffer. El pico más alto de absorción del DNA se obtiene a 260 nm de longitud de onda, mientras, las proteínas a 280 nm y los fenoles a 230 nm (Delgado, 2011; Guzmán *et al.*, 2018).

Otra técnica ampliamente usada en la cuantificación de los ácidos nucleicos es la fluorimetría. Este método consta en agregar un fluoróforo a las muestras, el cual se une al DNA y se expone a un haz de luz UV para excitar sus electrones, haciéndolos pasar a un orbital superior. Al terminar la fase de excitación los electrones regresan a su estado a basal, es decir, al orbital en el que se encontraban previo a la excitación, emitiendo luz de mayor longitud de onda que la utilizada para excitar a sus electrones. A este fenómeno se le conoce como fluorescencia y a su medición fluorimetría (Delgado, 2011).

La cuantificación por medio de espectrofotometría es muy útil, sin embargo, los equipos están diseñados solo para medir la absorción de luz sin importar los demás componentes, es decir, que puede haber compuestos con absorbancia de luz a la misma longitud de onda que las moléculas de interés influenciando los resultados, haciendo suponer que tenemos concentraciones de DNA más altas que



las reales, a diferencia de la medición por medio de fluorimetría, la cual permite obtener resultados con mayor exactitud (Zielińska, 2020). La desventaja de la fluorimetría es el costo de los reactivos, por esta razón es necesario identificar la relación entre ambas técnicas para obtener resultados más confiables a menor costo. El objetivo del presente trabajo es integrar las variables de pureza e integridad de los ácidos nucleicos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para la estimación de la concentración de DNA. La integración de las variables de pureza e integridad empleando un análisis de regresión lineal múltiple permitirán obtener una mejor estimación de la concentración de DNA de frijol, con la optimización de recursos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en 96 accesiones de frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) por triplicado (288 muestras) conservadas en el CNRG. La semilla se germinó para obtener tejido foliar de las plántulas, se liofilizaron las hojas y se pulverizaron mecánicamente en el equipo Tissue Lyser II. La extracción de DNA genómico se llevó a cabo con el método comercial MagMax™ DNA Plant Kit de la marca Applied Biosystems.

El DNA de 288 muestras se cuantificó por espectrofotometría mediante la lectura de la absorbancia a 260 nm, en un equipo NanoDrop 2000 de la marca Thermo Fisher Scientific. Además, se consideraron las lecturas a 280 y 230 nm para determinar los parámetros de pureza, las relaciones $A_{260/280}$ y $A_{260/230}$, respectivamente (Martín *et al.*, 2017).

Por otra parte, se seleccionaron aleatoriamente 100 muestras de DNA y se cuantificaron por fluorimetría con el método comercial Qubit™ dsDNA HS Assay Kit en un equipo Qubit 2.0 fluorometer de la marca Invitrogen.

La integridad de los ácidos nucleicos fue evaluada por electroforesis en gel de agarosa al 1% teñido con GelRed® Nucleic Acid Gel Stain de la marca Biotium. Se cargaron 10 μ L de DNA más 3 μ L de solución de carga SGB. Se utilizaron de 10 μ L de λ DNA sin cortar como marcador de peso molecular a una concentración de 10 ng/ μ L, de marca Promega. El corrimiento electroforético fue a 100 V durante 1 hora con 30 minutos y la visualización de los geles se realizó con un transiluminador Carestream 2.0 empleando luz UV.

El análisis de regresión lineal múltiple fue realizado con las variables independientes: a) concentración de DNA por espectrofotometría, b) relación $A_{260/280}$, c) relación $A_{260/230}$, y las variables cualitativas observadas en geles de agarosa al 1% son: d) intensidad de banda y e) banda residual de contaminantes. La variable dependiente fue la concentración de DNA por fluorimetría. Los datos se analizaron con el programa estadístico MINITAB 16 (Mendelhall *et al.*, 2006).

La intensidad de banda de la muestra se comparó con la intensidad de banda del marcador de peso molecular, la cual corresponde a 100 ng de DNA de alto peso molecular y la banda residual de contaminantes se evaluó con la presencia/ausencia de bandas en el fondo de los canales de corrimiento del gel de agarosa (Figura 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la cuantificación por espectrofotometría de 288 muestras de frijol, se obtuvieron lecturas de concentración de DNA de 27.9 a 1920.8 con 273.5 ng/mL de promedio. Los valores de la relación $A_{260/280}$ fueron de 1.7 a 1.9 con 1.8 de promedio, mientras, los valores de la relación $A_{260/230}$ fueron de 1.0 a 2.4 con 1.5 de promedio (Cuadro 1). La determinación de la concentración de solutos en disolución por espectrofotometría es ampliamente empleada, además permite evaluar la pureza, sin embargo, las mediciones pueden ser influenciadas por otras sustancias o compuestos que absorben la luz a la misma longitud de onda que el DNA y obtenerse lecturas más elevadas de la concentración real (Demeke y Ratnayaka, 2009).

Los valores promedio, desviación estándar, mínimos y máximos de la concentración y pureza de 100 muestras DNA determinadas por fluorimetría se observan en el cuadro 1. Durante la comparación, se observan valores de concentración de DNA más altos por espectrofotometría que por fluorimetría. Esta diferencia puede ser debida a la presencia de compuestos en la disolución que absorben la luz UV a la 260 nm, de la misma manera que el DNA y, por lo tanto, se sobreestima la concentración (Demeke y Ratnayaka, 2009).



Cuadro 1. Valores promedio, desviación estándar, mínimos y máximos de las concentraciones de DNA y variables de pureza.

Valores	[DNA] por espectrofotometría	Relación $A_{260/280}$	Relación $A_{260/230}$	[DNA] por fluorometría
Promedio	273.5	1.8	1.5	52.0
Desviación estándar	20.6	0.1	0.3	47.6
Max	1920.8	2.4	2.4	299.0
Min	2.5	1.1	0.4	4.7

[DNA]: Concentración de DNA.

La imagen de la electroforesis de ácidos nucleicos en gel de agarosa al 1% de 12 muestras se observa en la figura 1. De acuerdo con la evaluación de integridad, la banda de DNA de 235 muestras (81.6%) se observaron a la misma distancia de migración que el marcador de peso molecular λ DNA en muestras y 25 muestras (8.7%) presentaron bandas de menor intensidad. Además, se presentó banda de residuos contaminantes en 102 muestras (35.4%) (Figura 1).

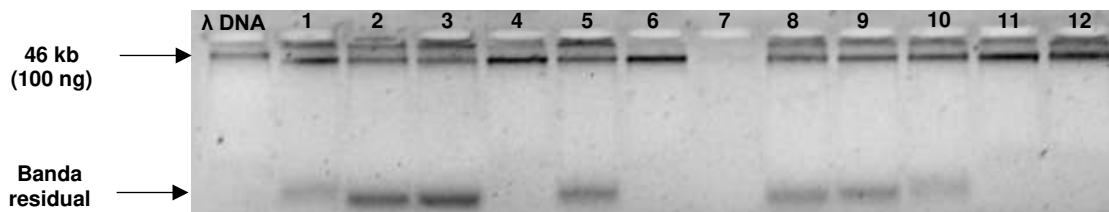


Figura 1. Imagen de electroforesis de DNA de frijol en gel de agarosa al 1% de 12 muestras.

La intensidad de la banda se evaluó comparando el patrón de bandeo de las muestras con la del marcador molecular, tomando en cuenta que se agregaron 100 ng totales de marcador de alto peso molecular y un microlitro de muestra diluido en 9 de H_2O . Esta dilución se realizó tomando como referencia la concentración determinada por espectrofotometría, por lo tanto, se esperó ver bandas de entre 3 a 190 $ng/\mu L$.

Durante la comparación de la banda de DNA con la concentración de DNA obtenida por espectrofotometría, se observó que la intensidad de la banda no correspondió con la concentración determinada por espectrofotometría, no obstante, se presenta mayor coincidencia la concentración de DNA determinada por fluorometría. A diferencia de nuestro trabajo, Huambo *et al.*, (2020) reportaron que no detectaron una variación significativa entre los resultados de las dos metodologías.

Con el análisis de regresión lineal múltiple de cinco variables independientes, se obtuvo la ecuación:

$$[DNA] = 507 + (0.151 * [DNA] \text{ por espectrofotometría}) - (271 * \text{Relación } A_{260/280}) - (14.5 * \text{Relación } A_{260/230}) + (9.23 * \text{Intensidad de banda}) - (0.53 * \text{Banda residual de contaminantes})$$

Con la implementación de la ecuación, se logró obtener valores de concentración de DNA más precisos en todas las muestras, cuantificando únicamente una muestra por fluorometría y optimizando recursos. El coeficiente de determinación (R^2) estimado fue 73.3%. Este valor sugiere una mejor estimación de la concentración de DNA cuando se incluyen las variables de pureza, intensidad de banda y presencia de contaminantes, que solo considerar las mediciones por espectrofotometría.

Después del análisis de regresión, se ajustaron las concentraciones del DNA de las muestras y se observaron bandas con la misma intensidad que la banda del marcador molecular λ DNA sin cortar. Estos resultados sugieren que la aplicación del análisis de regresión lineal múltiple, considerando las cinco variables independientes estudiadas permite obtener valores de concentración de DNA más



precisos, sin realizar el método fluorométrico de cuantificación de ácidos nucleicos en todas las muestras para reducir costos.

De manera similar que el reporte de Rosas *et al.*, (2006), también lograron predecir un comportamiento tomando en cuenta variables cuantitativas y cualitativas, considerando óptimo su análisis para orientar estudiantes en un futuro próximo, aunque sus estudios fueron aplicados a la predicción del rendimiento estudiantil en diferentes áreas académicas, un área diferente a este estudio, ambos reportes ayudan a predecir un determinado comportamiento con la aplicación del análisis de regresión múltiple.

CONCLUSIONES

La integración de las variables de pureza e integridad de los ácidos nucleicos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para la estimación de la concentración de DNA en un análisis de regresión lineal múltiple permitieron obtener una mejor estimación de la concentración de DNA de frijol, con la optimización de recursos.

LITERATURA CITADA:

- Delgado, M. 2011. Determinación de la absorbancia de UV del agua succionada. Universidad de Colombia. Facultad de medicina, Bogotá Colombia. pp. 12-15.
- Demeke, T. and Ratnayaka, I. 2009. Effects of DNA extraction and purification methods on real-time quantitative PCR analysis of roundup ready soybean. *Journal of AOAC International*. 92(4):1136-1144.
- Guzmán, L.F., Cortés-Cruz, M. A., Pichardo-González, J. M. and Arteaga-Garibay, R. I. 2018. Comparación de protocolos de aislamiento de DNA a partir de semilla de soya. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9:1691-1701.
- Huambo, A. 2020. Evaluación de tres protocolos de extracción de ADN total en especies vegetales de la comunidad vegetal tipo tólar del fundo QENA, Distrito Callalli – AREQUIPA. Tesis de licenciatura, Universidad de San Antonio ABAD del CUSCO, Facultad de ciencias agrarias. Colombia. 132 p.
- Martín, E., Moreno-Ruiz, H. M., Silenzi-Usandivaras, G. M. and Bonano, M. 2017. Comparación de métodos de extracción de ADN para el género *Astylus* (Coleoptera: Melyridae). *Acta zoológica lilloana*, 61(1): 55–64.
- Mendelhall, W., Beaver, R. J. and Beaver, B. M. 2006. Introducción a probabilidad y estadística. Cengage learning. Décima tercera edición. pp. 551-582.
- Ríos, E., Mejía, H. and Álvarez-Castañeda, S. T. 2009. Marcadores moleculares: una revolución en la zoología. *Revista CIENCIA*, 60:5-13.
- Rosas, M., Chacín, F., García, J., Ascanio, M. and Cobo, M. 2006. Construction of linear regression models with quantitative and qualitative variables in order to inference about student accomplishment. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(2): 197-214.
- Zielińska, A., Kubasiewicz, K., Wójcicki, K., Silva, A. M., Nunes, F. M., Szalata, M., Słomski, R., Eder, P. and Souto, E. B. 2020. Two- and Three-Dimensional Spectrofluorimetric Qualitative Analysis of Selected Vegetable Oils for Biomedical Applications. *Molecules*, 25(23): 1-11.



EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA EN AGUA DE COCO COMERCIAL DE LA REGIÓN CHONTALPA EN TABASCO.

PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL EVALUATION IN COMMERCIAL COCONUT WATER FROM THE CHONTALPA IN TABASCO REGION.

¹Córdova Alejandro, MA; ¹Suarez Espejo, FI; ²Cadenas González, MT; ²Leo Avelino G; ¹De la Cruz López A; ²Castañeda Castañeda C y ²Ramos Valencia JJ.

¹Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH), División de Ciencias Básicas, e Ingenierías, Carr. Cárdenas-Huimanguillo Km. 2.0. 86500. Cárdenas, Tabasco, México.

²Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ), Ingeniería de plantas. Calle 23 de agosto 213, Jesús García, 86040, Villahermosa, Tabasco, México.

Autor correspondencia: teresa.cadena@ciateq.mx

RESUMEN

El agua de coco es una de las bebidas más ingeridas por la mayor parte de la población, generando un producto con tendencia de transformación y utilidad de gran valor comercial. Es una bebida refrescante e hidratante que contiene muchos beneficios para la salud humana, por ese mismo motivo hay una gran variedad de estudios para identificar sus propiedades, que dan pauta a comercializar el agua de coco embotellada conservando su sabor original y sobre todo sin afectar los beneficios naturales. El presente estudio tiene como finalidad analizar las propiedades fisicoquímicas y los posibles agentes microbiológicos presentes en el agua de coco comercial después su proceso de embotellado mediante técnicas de inoculación microbiológica. Para ello se hizo una búsqueda en tiendas comerciales en la región Chontalpa del estado de Tabasco de diferentes marcas comerciales de agua de coco. Las muestras indicaron valores globales de pH de 5.2, el contenido de azúcares totales de 5.0 y densidad en valores de 1.00 g/ml. Estos resultados se encuentran dentro de los estándares internacionales que presenta el agua de coco de origen natural.

Palabras clave: *Agua de coco, fisicoquímico, inoculación, microbiología.*

INTRODUCCIÓN

El agua de coco es una bebida con nutrientes puros y alimenticios que ofrece la naturaleza, también es una bebida a la que se le atribuye muchas virtudes por su alto contenido de sales minerales, vitaminas y carbohidratos. Aporta beneficios a la salud, por ejemplo, rehidrata de manera rápida el cuerpo por su contenido de potasio y contiene otros minerales como el magnesio, calcio, sodio y fósforo que ayuda a reponer los nutrientes necesarios del cuerpo. Presenta un color transparente y algunas veces se presenta un color opaco, sabor muy característico que varía de cada especie de cocotero. Se considera que bacteriológicamente el agua de coco es más segura que otras aguas (Licata, 2020).

El agua de coco se encuentra en el endocarpio de capa fina y dura color marrón. Se cosechan los frutos del sexto al octavo mes, momento en el cual contiene el máximo de agua y el mejor sabor. El agua de coco se emplea como bebida rehidratante y su pulpa se come fresca; de forma natural o comercializada. Esto demanda una gran elaboración de productos que son una fuente de alimento como bebidas, dulces, etc. (SAGARPA, 2017).

Mientras se encuentre almacenada dentro del fruto es estéril, pero una vez extraído de su recipiente de almacenamiento natural esta esterilidad se pierde y a su vez por el contacto con el aire, comienza a darse un proceso de fermentación. Los microorganismos indicadores tienen por objeto identificar aquellos microorganismos que puedan afectar la calidad del producto, en este caso el agua de coco que ha seguido un proceso de extracción, que a corto o largo plazo afecte la calidad del producto. Los microorganismos indicadores que se determinan en el caso del agua de coco envasada son: Bacterias aeróbicas mesófilas, Coliformes totales, presencia de Mohos y Levaduras, presencia de Microorganismos patógenos como la *Escherichia coli* y *Pseudomonas sp* (Murcia, 2010).



La FAO (2007) menciona que el agua de coco de buena calidad es traslúcida e incolora, con un pH de 5 a 5,4 y un nivel Brix (medida de la concentración de azúcar) de 5 a 6,5. En el caso de análisis microbiológico, debe tener por mililitro, un conteo total inferior a 5 000, menos de 10 de bacterias y cero coliformes fecales. Los pequeños productores que no tienen acceso a análisis de laboratorio pueden aplicar medidas sencillas, indica el manual, como verificar que el producto no presente indicios de fermentación ni objetos extraños, y hacer una prueba olfativa: un olor a rancio indica, por ejemplo, que se puede haber oxidado la pequeña cantidad de grasa que contiene el líquido.

Actualmente SAGARPA (2017), externa el desarrollo de mercado del agua de coco, haciendo mención que la estacionalidad de las exportaciones muestra que en julio, septiembre y noviembre son los meses con mayor flujo al extranjero generando que las incipientes exportaciones mexicanas sean destinadas principalmente a Estados Unidos, Chile, Colombia y Guatemala. Sin embargo, obtener una bebida orgánica y que conserve sus propiedades originales, además de contribuir a los hábitos de alimentación saludables, debido a que se anularía el uso de sustancias químicas artificiales de otros productos para su conservación alterando las propiedades naturales (Barragán, 2016).

Teniendo en cuenta las propiedades físicas y químicas naturales del agua de coco, el propósito de este proyecto es evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas que presenta el agua de coco comercializada en la región Chontalpa, esto permitirá identificar las características presentes en ellas y compararlas con las del agua de coco de origen natural; además de evaluar si el almacenamiento y preservación en este tipo de productos alimenticios cumple con las buenas prácticas de elaboración y de conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Muestras de agua de coco comercial

Se realizó una búsqueda de agua de coco envasada en los diferentes supermercados y tiendas presentes en la región Chontalpa que incluye los municipios de Cárdenas, Comalcalco, Cuauacán y Huimanguillo. Estas se desinfectaron externamente con una solución de jabón e hipoclorito de sodio al 0.1%. Posteriormente, fueron identificadas por claves: ACP, ACS, ACA, ACD y ACC y almacenadas en refrigeración a 4.5 °C hasta inicio de experimentación.

Determinación de pH

Este es una medida de acidez o alcalinidad. Las muestras de agua de coco comercial fueron evaluadas con un medidor de pH de la marca HANNA instruments mod. HI98107. Se agregó una porción mezclada de la muestra en un vaso de precipitado, se introdujo el electrodo en la muestra hasta cubrir perfectamente y leer medición del pH. Retirar el electrodo y lavar con agua.

Determinación de densidad

La técnica utilizada corresponde a la norma NMX-F-075-SCFI-2012 que consiste en: determinar la masa a volúmenes constantes de agua (patrón); para ello se utilizaron probetas y balanza analítica calibrada para cada una de las muestras comerciales.

Propiedades organolépticas

Esta determinación consistió en evaluar sensorialmente las características presentes en cada una de ellas, en la cual se evaluó el aspecto físico, olor y sabor.

Análisis microbiológico

Para el análisis se emplearon medios selectivos (Agar Dextrosa Sabourad y McConkey). Para la preparación de éstos, fueron disueltos en agua destilada y en matraz Erlenmeyer. Se esterilizaron en autoclave marca Ecoshel Mod.CVQ-B50L tanto los medios como el material necesario para iniciar el proceso de inoculación.

Preparación de diluciones de trabajo

Se prepararon patrones a partir de diluciones con un diluyente rico en digestión péptica, realizando de esta forma diluciones decimales 10^1 10^2 10^3 para un análisis microbiológico. Mediante la utilización de



micropipetas se realizó la homogenización de cada dilución y posteriormente fue vertido en placas Petri. A cada una de las muestras inoculadas se anexó un testigo (control) para confirmar el crecimiento en placa, dicho testigo solo contiene el medio nutritivo determinado para el estudio. Los medios de cultivos inoculados se incubaron en una estufa de cultivo marca ECOSHEL Mod. 9082 a 37 °C durante 24 a 48 h.

Análisis del crecimiento microbiano

La identificación de colonias en los medios de cultivo fue registrada mediante morfología colonial, aspecto/cambio de coloración en el medio por variación de pH y observación en microscopio de estructuras mediante el empleo de técnicas de tinción: Gram y azul de lactofenol.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez retiradas de las condiciones de refrigeración, se evaluaron las características fisicoquímicas y microbiológica de las distintas marcas comerciales, de manera global se presentan en el cuadro 1. Los resultados en cuanto al pH en cuanto 3 muestras se encuentran dentro de lo reportado según Morton (2000) el cual indica un pH característico del agua de coco natural de 5.2. El valor de pH que los productos presentan va a desencadenar una serie de reacciones enzimáticas, de tal manera que menor pH produce un menor crecimiento de microorganismos.

La densidad en muestras de agua de coco comercial se encontró con valores de hasta 1.04 g/ml, esto coincide con lo reportado por Morton (2000) teniendo un valor idóneo para el agua de coco de origen natural de 1.02 g/ml, por lo que se encuentran dentro de los valores ideales y que permite detectar que aun con el proceso de envasado del agua conserva este parámetro fisicoquímico.

Los °Bx son utilizados para soluciones acuosas que contienen otros elementos además de sacarosa y agua, y permite obtener el porcentaje del contenido total de azúcar de estas. Un grado Brix corresponde a un gramo de sacarosa en 100 gramos de solución (solo si está compuesto por sacarosa y agua). También, un grado Brix corresponde a un gramo del contenido total de azúcar en 100 gramos de solución, y por ende da el porcentaje de sacarosa/contenido total de azúcar en una solución acuosa por peso (NMX-F-103-2009).

Los estándares internacionales indican que un agua de coco para consumo humano debe tener un mínimo de 5.5 °Brix y en la medida que lo sea mejor será el sabor del agua de coco. La medición de este parámetro debe efectuarse a temperatura ambiente con el uso de un hidrómetro o refractómetro. Por lo general, este parámetro (5.5 °Brix o mayores) coincide con el pH superior a 5.0 (Figura 1), esto indica que están fuertemente relacionados (Cortazar y Carrillo, 2009). Los valores obtenidos en el análisis permitieron identificar que 2 muestras se encuentran dentro del valor mínimo considerado internacionalmente, sin embargo, las muestras pertenecientes a las ACS y ACA poseen un valor por debajo del mínimo reportado (Cuadro 1).

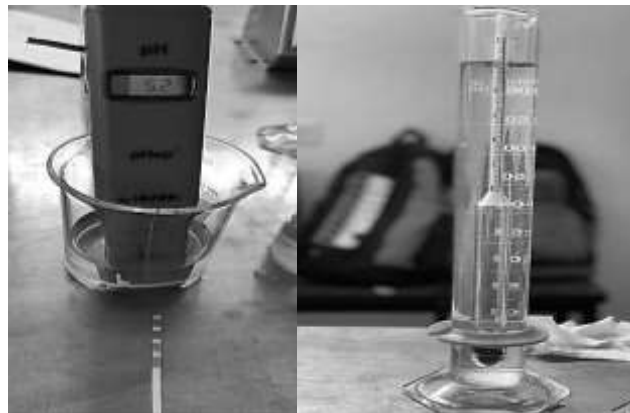


Figura 1. Determinación de pH y grados Brix en muestras de agua de coco comercial.



Cuadro 1. Resultados evaluación fisicoquímica de agua de coco comercial en la región Chontalpa.

Parámetros	ACP	ACS	ACA	ACC
pH	4.6	5.7	5.2	5.3
Densidad g/ml	1.04	0.98	1.00	1.03
Contenido de azúcares totales °Brix	6.8	4.0	5.0	5.5
Propiedades organolépticas	Sin olor, color blanco opaco con pulpa de coco visible en trozos. Sabor insípido	Olor y color característico del coco, Sabor desagradable	Sin olor, color amarillo claro, sabor desagradable	Sin olor, color blanco opaco, con un ligero sabor a coco

En el Cuadro 2, se muestran los resultados obtenidos por análisis microbiológicos de las diferentes muestras comerciales del agua de coco. Los resultados demuestran que el crecimiento microbiano fue prolongado y que conforme las diluciones realizadas e inoculaciones la aparición se tornó más frecuente y evidente. El conteo de UFC/mL presentó variación en medios de cultivo para hongos por la estructura y morfología colonial, ya que el desarrollo de filamentos propició un aumento en la cuantificación de UFC de los microorganismos desarrollados en las muestras ACC y ACA.

Cuadro 2. Resultados del análisis microbiológico de agua de coco comercial en la región Chontalpa

Muestras	Procedimiento		
ACP ACS ACA ACC	Inoculación directa del agua de coco en los medios de cultivos correspondientes dando como resultado la primera aparición y desarrollo de microorganismos a 37°C durante 24 y 48 h		
Observaciones/medios de cultivo			
Agar Dextrosa Sabourad: Colonias blancas redondas.	Presencia de hongos filamentosos/ algodonosos	Sin crecimiento	Presencia de hongos algodonosos y cambio pH en la muestra ACS.
McConkey: Crecimiento de colonias moradas puntiformes.	Cambios de coloración en el medio (pH), colonias moradas.	Presentó colonias moradas puntiformes con cambio de coloración y pH del medio.	Sin crecimiento.
Examen microscópico			
Medios bacterianos		Medios para hongos	
Tinción de Gram: Bacilos Gram negativos		Tinción de azul algodón: Levaduras	
UFC/mL			
Medios McConkey		Medios Dextrosa Sabouraud	
ACP <2 UFC/mL	ACS >8 UFC/mL	ACA AUSENTE	ACC AUSENTE
		ACP >10 UFC/mL	ACS >15 UFC/mL
		ACA > 150 UFC/mL (incontable)	ACC > 150 UFC/mL (incontable)

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Murcia (2010), quien evaluó las características microbiológicas de diversas aguas comerciales de coco durante una búsqueda de

agentes contaminantes coliformes de bebidas comerciales preparadas a base de coco y en algunos casos con adición de pulpa del mismo fruto, encontrando que tanto el recuento de agentes microbianos fue en algunos casos elevados y en otros según el aspecto físico un recuento menor.

Las variedades que presentaron mayor contaminación por microorganismos son los que presentan mayor contenido de azúcares, en este caso las muestras identificadas con clave ACA y ACC. A diferencia de las muestras ACP y ACS presentaron una baja proliferación de microorganismos, los cuales afectarían la calidad del producto a corto y largo plazo (Figura 2).



Figura 2. Crecimiento microbiológico y estructuras filamentosas, tinción de azul de lactofenol en muestras de agua comercial.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten recalcar la importancia del control de calidad en alimentos procesados. Las propiedades fundamentales con las que cuenta el agua de coco de origen natural permitirán obtener posibles formulaciones sin afectar la calidad sensorial del mismo.

Las muestras de agua de coco comercial analizadas en este estudio presentaron características fisicoquímicas y sensoriales similares entre sí. Sin embargo, en cuestión de sabor existe una diferencia muy grande en las marcas estudiadas en la región Chontalpa del estado de Tabasco, la marca ACA y ACC son las únicas que se acercan a un pH constante del agua de coco con tiempo de extracción cercana al natural. La pasteurización o tratamiento térmico para preservar la inocuidad y calidad del producto alimentario puede afectar el sabor presente en dichas marcas comerciales. En referencia a esto la mayoría de estas presentaron un sabor distinto en otras más diluido o sabor más azucarado.

Desafortunadamente un producto alimenticio proveniente de origen natural es necesario evaluar diversas condiciones que permitan conservar sus propiedades y alargar la vida de anaquel de este. Se necesita, evaluar diferentes formulaciones hasta encontrar la más idónea en cuanto a propiedades nutrimentales y características organolépticas.

En referencia al análisis microbiológico fue variable, lo evidencia la omisión de algún proceso de higiene o desinfección en el envasado mediante el proceso del agua de coco; esto es preocupante, ya que se observó el desarrollo de agentes micóticos en la mayor parte de las aguas comerciales. Por lo tanto, es necesario realizar un proceso de esterilización y proceso de envasado estricto del agua de coco para poder ofrecer un producto seguro y libre de agentes patógenos.

LITERATURA CITADA

Barragán, J. (2016). PLAN DE NEGOCIO PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE AGUA DE COCO EMBOTELLADA EN BOGOTÁ [Tesis de licenciatura]. Repositorio institucional. UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SEDE BOGOTÁ COLOMBIA., Colombia.



-
- Cortazar, M., y Carrillo H. (2009). Manual para mejorar la calidad del coco-fruta. Folleto técnico. INIFAP. Centro de investigación regional del sureste campo experimental Chetumal.
- FAO. (2007). Agua de coco embotellada. Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Obtenido de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0701sp1.htm>
- Licata, M. (2020). Zonadiet. Obtenido de <https://www.zonadiet.com/comida/coco-nutrientes.php>
- Morton, R. (2000). Nutrición y deporte. Ed. Acribia S.A. Madrid España. 160 p.
- Murcia, E. (2010). EVALUACION DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE COCO ENVASADA EN PRESENTACION DE UN LITRO, REGISTRADA Y COMERCIALIZADA EN EL DISTRITO N° 2 DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR [Tesis de licenciatura, Universidad del Salvador]. Repositorio institucional.
- Norma Oficial Mexicana NOM-CH-50-1984, Métodos de Medición. - Determinación de la Densidad de Líquidos.
- NORMA OFICIAL MEXICANA. NMX-F-103-NORMEX-2009. alimentos-determinación de grados brix en alimentos y bebidas metodo de ensayo (prueba).
- SAGARPA. (2017). Planeación agrícola Nacional 2017-2030, Palma de coco Mexicana. México.: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.



EXPRESIÓN GÉNICA DE P-GLICOPROTEÍNA ASOCIADA A RESISTENCIA A IVERMECTINA ENTRE EL ESTADIO L4 DE *Haemonchus contortus* DESARROLLADO IN VIVO E IN VITRO

GENE EXPRESSION OF P-GLYCOPROTEIN ASSOCIATED TO IVERMECTIN RESISTANCE IN L4 STAGE OF *Haemonchus contortus* DEVELOPED IN VIVO AND IN VITRO

Meléndez Rosas XK¹; Reyes Guerrero DE^{1*}; Maza Lopez J¹; López Arellano ME¹; Olmedo Juárez A; Mendoza de Gives P¹

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, INIFAP. Carretera Federal Cuernavaca-Cuautla 8534, Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Morelos, México
Autor para correspondencia: reyes.david@inifap.gob.mx; de.reyes.guerrero@hotmail.com

RESUMEN

El nematodo parásito *Haemonchus contortus* causa daño en la salud de los pequeños rumiantes y afecta la producción debido a su alta prevalencia y sus hábitos hematófagos e histiófagos, lo que puede causar la muerte del hospedero. El control de estas parasitosis se basa en antihelmínticos sintéticos, pero el uso excesivo ha provocado el desarrollo de resistencia antihelmíntica (RA). El objetivo del presente trabajo fue comparar el desarrollo de *H. contortus* L₄ *in vitro* e *in vivo* con base en su morfometría y niveles de RNAm de genes del transportador de membrana, P-glicoproteína (P-gp). Se analizaron dos aislados de *H. contortus*, resistente y susceptible a ivermectina (IVM), obtenidos de campo. A partir de larvas infectantes (L₃) se llevó a cabo el desarrollo de *H. contortus in vitro* en medio Hank's suplementado. Así mismo, se infectaron jerbos de Mongolia (*Meriones unguiculatus*) para el desarrollo a L₄. Larvas obtenidas de ambos desarrollos (n = 50), se caracterizaron morfométricamente. A partir de las L₄ desarrolladas, se analizó la expresión relativa de 10 genes *P-gp* de ambos aislados de *H. contortus*. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de longitud entre L₄ *in vivo* e *in vitro*. El análisis de expresión resultó en incremento de la expresión relativa en la mayoría de los genes evaluados ($p \leq 0.05$) en ambos aislados de *H. contortus* L₄, *in vivo*, respecto a L₄, *in vitro*. Se observaron diferencias en la regulación de la expresión de los transcritos de P-gp's entre modelos, encontrándose que en el aislado resistente hay sub-regulación de los mismos y en el modelo *in vitro* ocurre lo contrario. Los resultados sugieren la diferencia entre larvas cultivadas *in vitro* e *in vivo*, teniendo como modelo al jerbo. La expresión de P-gp podría estar relacionada a RA, sin embargo, se requiere analizar a nivel de mutaciones para confirmar su relación.

Palabras clave: *Expresión génica; Resistencia a ivermectina, P-glicoproteínas; Haemonchus contortus*

INTRODUCCION

El nematodo parásito *Haemonchus contortus* se distingue por provocar pérdidas económicas importantes en la producción pecuaria a nivel mundial, debido a su gran diseminación y por el efecto patógeno en los pequeños rumiantes (ovinos y caprinos), siendo los animales jóvenes los más susceptibles (Verissimo *et al.*, 2012). El control de los nematodos gastrointestinales (NGI) se realiza mediante el uso de drogas químicas como la ivermectina (IVM), perteneciente a la familia de Lactonas macrocíclicas (LM), pero el uso inadecuado de éstos fármacos ha provocado resistencia antihelmíntica (RA) en diferentes poblaciones de NGI. *H. contortus* ha servido como modelo parásito de estudio en estrategias para el control de NGI y mecanismos de desarrollo de la RA (Laing *et al.*, 2017). A este respecto, existen transportadores de moléculas xenobióticas del nematodo con roles de resistencia a múltiples drogas (MDR), como son las P-glicoproteínas (P-gp), asociadas a la resistencia en IVM (Reyes-Guerrero *et al.*, 2020; Laing *et al.*, 2017). Algunos mecanismos de detoxificación y evaluación de moléculas con potencial antihelmíntico se han estudiado en laboratorio sobre estadios de vida libre, como huevo y larva infectante (L₃) en *H. contortus* (Geary, 2016), debido a su facilidad de obtener el germoplasma. Son pocos los estudios realizados sobre estadios endoparásitos, como larva 4 (L₄) y/o adulto a causa de la complejidad implicada para la obtención de los mismos a partir del huésped



definitivo (Geary, 2016). Por esta razón, es necesario llevar a cabo la implementación de modelos biológicos eficientes para la obtención de germoplasma, específicamente L₄, para realizar estudios y evaluaciones dirigidas hacia estadios endoparásitos de *H. contortus* y extrapolarlos a otros géneros de NGI. Algunos estudios han notificado el desarrollo de L₄ *in vitro*, con medio de cultivo enriquecedor, suplementado con eritrocitos y bajo condiciones específicas de temperatura y concentración de CO₂ (Geary, 2016). Por otro lado, se han utilizado pequeños animales como modelo *in vivo* para el desarrollo de *H. contortus*, como es el uso del roedor jerbo (*Meriones unguiculatus*) como huésped errático del parásito (Zamilpa *et al.*, 2018; Geary, 2016). El objetivo del presente estudio fue determinar y comparar los niveles de RNAm de diez genes funcionales del transportador de membrana P-glicoproteína (1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 14, 16), asociados a la resistencia a IVM entre el primer estadio endoparásito (L₄) de *H. contortus* desarrollado bajo condiciones *in vivo* e *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el departamento de Helmintología del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI), INIFAP en Jiutepec, Morelos.

Haemonchus contortus susceptible y resistente a IVM

Para este estudio se utilizó un aislado de referencia de *H. contortus* sin presión a IVM (susceptible), proveniente de una infección natural en ovinos de raza Pelibuey, (Reyes-Guerrero *et al.*, 2020). Desde la colecta del aislado en el campo Experimental “Las Margaritas” en Hueytamalco, Puebla se ha conservado en laboratorio a -196°C en el CENID-SAI y mediante pases del parásito en ovinos donadores. Por otro lado, se utilizó un aislado resistente a IVM, el cual fue obtenido de una región tropical en Salto del Agua, Chiapas y fue caracterizado como resistente a IVM en campo y en laboratorio mediante ensayos *in vitro* con IVM grado analítico (Reyes-Guerrero *et al.*, 2020). Para la obtención de germoplasma fresco de ambos aislados, estos fueron reactivados mediante la infestación artificial de dos ovinos donadores de 4 meses de edad por vía oral con 350 L₃ por kg de peso. El germoplasma fue recuperado y mantenido mediante técnicas copro-parasitológicas.

Desarrollo de H. contortus L₄ *in vitro*

Larvas infectantes (L₃) de *H. contortus* de ambos aislados, resistente y susceptible a IVM fueron lavadas y desenvainadas para llevar a cabo su desarrollo al primer estadio endoparásito (L₄) *in vitro*. Aproximadamente, 50,000 L₃ se mantuvieron en solución de PBS 1X, pH 7.4 con antibiótico-antimicótico (100x, Amersham, UK) a 4 °C. Posteriormente, las L₃ fueron colectadas por centrifugación y se depositaron en medio Hank's, suplementado con eritrocitos en solución VyM, antibiótico antimicótico y anfoterisina e incubadas a 37 °C con un atmosfera de 5% de CO₂ para permitir el desarrollo a L₄ durante 21 días.

Desarrollo de H. contortus L₄ *in vivo* en Jerbos (*Meriones unguiculatus*)

Jerbos machos y hembras, recién destetados de entre 25 y 30 días de edad fueron utilizados para el desarrollo del primer estadio hematófago de *H. contortus* mediante la infección artificial vía oral de L₃ sin vaina. Los jerbos fueron inmunosuprimidos por tres días, administrando 150 µl de dexametasona (Dexis-Biochem, México) a una dosis de 2.63 mg/ml. La infección de los jerbos se realizó con 10,000 larvas previamente lavadas y desenvainadas, éstas se inocularon en 100 µl de agua vía oral. Se permitió que la infección progresara durante 12 días y posterior se realizó la eutanasia por disociación cervical de acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995. Posteriormente, se procedió a la extirpación del estómago de acuerdo a la NOM-062-ZOO-1999. Se le realizó una incisión en la parte central del estómago y el contenido se colocó en una caja Petri con medio PBS. Así mismos, se raspó la mucosa de estómago y el tejido se colocó en solución digestiva y se incubó durante 20 minutos a 37 °C para permitir la liberación de las L₄.

Análisis de expresión Relativa de genes P-gp de H. contortus (L₄) desarrollado *in vivo* e *in vitro*

Se llevó a cabo la extracción de RNA total a partir del germoplasma obtenido de L₄ *in vivo* e *in vitro* para ambos aislados de *H. contortus* de cinco aislados obtenidos de las unidades de producción y del aislado susceptible. Las larvas fueron homogeneizadas con el reactivo Trizol® (Thermo Fisher Scientific),



utilizando el instrumento MagNA Lyser®. El RNA se purificó con cloroformo e isopropanol, precipitándolo con etanol al 75%. Posteriormente, se realizó la síntesis de cDNA por triplicado mediante kit comercial (PROMEGA) a partir de 300 ng de RNA total extraído por cada muestra.

Se realizaron reacciones de qPCR por triplicado utilizando los genes *P-gp 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 14 y 16* y de los genes constitutivos, *GAPDH* y *Beta-tubulina*, por cada muestra en cuestión.

El análisis de expresión génica se realizó en el aislado resistente en ambos modelos biológicos de L₄ (in vivo e in vitro), respecto a los genes del aislado susceptible con base en la normalización de los valores de la 2^{ΔΔ} Ct, siendo el aislado susceptible el grupo control. Los datos obtenidos fueron analizados con el software de la plataforma web GeneGlobe Data Analysis Center de Qiagen®. En esta plataforma, los valores de las réplicas de los ΔΔCt (2^{Δ(-Delta Ct)}) de cada gen tanto del grupo control (susceptible) y del grupo a comparar (resistente) fueron analizados automáticamente mediante una prueba de t-student para la comparación de medias a un nivel de significación de 0.05 y 0.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cultivo *in vitro*, donde se comparó el aislado resistente respecto al aislado susceptible de *H. contortus* L₄, incremento de la expresión se determinó en *P-gp 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 16* ($p \leq 0.05$) y *P-gp 9* ($p \geq 0.05$); el mayor incremento se observó en *P-gp 4* con un valor de 68.28 veces. En contraste, los genes *P-gp 9 y 14* ($p \leq 0.05$) mostraron bajos niveles de expresión con valores de 0.03 y 0.01, respectivamente.

Respecto al análisis de los transcritos de P-gp entre *H. contortus* L₄ resistente *in vivo* con respecto a la susceptible a IVM, el aislado caracterizado como resistente presentó incremento de la expresión en todos los genes evaluados, mostrando valores significativos de $p \leq 0.05$ para los genes P-gp 1, 2, 3, 4, 9 y 11 con un rango de incremento de la expresión de entre 8.42 y 188.71 veces con respecto a los genes constitutivos. Para los genes *P-gp 14 y 16* se identificó sobreexpresión de 8.78 y 23.83 veces, respectivamente ($p \leq 0.1$). Los genes *P-gp 10 y 12* no mostraron sobreexpresión significativa ($p \leq 0.05$; 0.1).

A pesar de la facilidad de obtener y mantener larvas infectantes de *H. contortus* en laboratorio, pocos estudios farmacológicos e inmuno-reguladores han sido extrapolados a evaluaciones *in vivo* y dirigidos a estadios endoparásitos, debido a que en la mayoría de estos estudios se ha utilizado el huésped definitivo (ovinos) o en explantes abomasales del mismo, lo cual implica costos altos, mantenimiento complejo y se requieren grandes cantidades del compuesto a evaluar; por esta razón es necesario llevar a cabo estudios, donde se utilicen modelos de animales pequeños con fácil acceso y manipulación como huéspedes erráticos del parásito (Geary, 2016).

Ma et al., (2018), mencionan que existen alteraciones moleculares y post-traduccionales durante el desarrollo del estadio L₃ a L₄ *in vitro*, asociadas a vías biológicas del metabolismo; así mismo, se ha notificado que el estadio L₃ suprime la regulación del más del 89 % de sus genes, los cuales son sobre-expresados en fases parasitarias, asociadas también al metabolismo, alimentación y reproducción (Schwarz et al., 2013), los cuales podrían ser cambios implicados en este estudio. Trabajos realizados recientemente por Reyes-Guerrero et al., (2020), indican incremento en la sobre-expresión de un gen (P-gp16) en L₃ y de 6 genes (P-gp 1, 4, 10, 11, 12 y 16), que conservan la sobre-expresión entre los estadios L₄ *in vitro* y nematodos adultos del aislado resistente a IVM; resultados similares respecto a los niveles de transcritos de L₄ a partir de jerbo (*in vivo*) reportados en éste estudio.

CONCLUSIONES

A través de la información colectada en el presente trabajo, se confirmaron las variaciones que existen entre aislados de resistencia y susceptibilidad a IVM, y entre modelos de desarrollo para la obtención de *H. contortus* L₄. Con esta información se podrá diseñar estrategias moleculares para estudiar los mecanismos involucrados en la RA y estrategias de control, por ejemplo, inhibición de receptores para genes diana dirigido a estadios endo-parasitarios.

LITERATURA CITADA

Geary, T.G. 2016. *Haemonchus contortus*: Applications in drug discovery. In: R.B. Gasser, G. Von Samson-Himmelstjerna (Eds.), *Haemonchus contortus* and haemonchosis – Past, present and future trends. Elsevier Ltd., London, 2016, pp. 429 – 463.



-
- Laing, R., Gillan, V., Devaney, E. 2017. Ivermectin – Old Drug, New Tricks? Trends Parasitology, 33: 463-472. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2017.02.004>
- Ma, G., Wang, T., Korhonen, P.K., Ang, C.S., Williamson, N.A., Young, N.D., Stroehlein, A.J., Hall, R.S., Koehler, A.V., Gasser, R.B. 2018. Molecular Alterations During Larval Development of *Haemonchus Contortus in Vitro* Are Under Tight Post-Transcriptional Control, Int. J. Parasitol. 48: 763-772. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2018.03.008>.
- Reyes-Guerrero D.E., Cedillo-Borda M., Alonso-Morales R.A., Alonso-Díaz M.A., Olmedo-Juárez A., Mendoza-de-Gives P., López-Arellano M.E. 2020. Comparative study of transcription profiles of the P-glycoprotein transporters of two *Haemonchus contortus* isolates: susceptible and resistant to ivermectin, Molecular and Biochemical Parasitology, doi: <https://doi.org/10.1016/j.molbiopara.2020.111281>.
- Schwarz, E.M., Korhonen, P.K., Campbell, B.E., Young, N.D., Jex, A.R., Jabbar, A., Hall, R.S., Mondal, A., Howe, A.C., Pell, J. Hofmann, A., Boag, P.R., Zhu, X.Q., Gregory, R.A., Loukas, B.A., Williams, I., Antoshechkin, C.T., Brown, P., Sternberg, Gasser, R.B. 2013. The genome and developmental transcriptome of the strongylid nematode *Haemonchus contortus*, Genome Biology. 14: 1-18. <https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-8-r89>.



REMOCIÓN DE MUCÍLAGO DE LA SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispánica*)

REMOVAL OF MUCILAGE FROM CHIA SEEDS (*Salvia hispánica*)

*Atonal Sánchez H, Luna Suárez S

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA- IPN). Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 57296000, Ext. 87816.

*Autor para correspondencia: silvials2004@yahoo.com.mx

RESUMEN: La chía, *Salvia hispánica* es una planta potencialmente benéfica para la salud ya que contiene diversos compuestos como antioxidantes, antihipertensivos, vitaminas, fibra, minerales y lípidos (García *et al.*, 2017). La manipulación de la chía para extraer estos compuestos benéficos esta relacionada con la remoción de mucílago, ya que este dificulta el trabajar con la semilla, es decir una menor cantidad de mucílago facilita su manipulación. En este trabajo se probaron varios métodos para la remoción del mucílago considerando aspectos como tiempo, rendimiento y equipo necesario. Se logró remover hasta el 59% de mucílago presente en la semilla, con un tratamiento de sonicación, modificación de pH (7 a 8) y temperatura elevada (80°C). Sin embargo, con un tratamiento de hidratación se logra una remoción de hasta un 54%.

Palabras clave: Chía, mucílago, *Salvia hispánica*

INTRODUCCIÓN: La chía es considerada una fuente nutrimental capaz de controlar la glucosa en el metabolismo por su contenido de ácido rosmarínico, que se ha relacionado con efectos hipoglucémicos (Enes *et al.*, 2020). Las propiedades físicas de la Chía también prueban que su gel (mucílago) puede reemplazar la grasa de alimentos como el huevo hasta en un 25% sin afectar su textura, color, o sabor de el platillo, por lo que puede ser relevante en la industria alimenticia (Brütsch *et al.*, 2019).

El mucílago es un carbohidrato (heteropolisacárido) de alto peso molecular, específicamente éste se compone de un tetra sacárido con cadena principal de (1→4)- β-D-xilopiranosil-(1→4)- α-D-glucopiranosil-(1→4)-β-D-xilopiranosil con ramificaciones de 4-O-metil- α-D-ácido glucorónico en la posición 0-2 de β-D xilopiranosil de la cadena principal (Farela, 2017). Estudios sugieren que las semillas tienen propiedades antioxidantes que juegan un rol en la prevención de diabetes, ya que puede reducir la coagulación, presión sanguínea y obesidad (Kobus *et al.*, 2019). Pero también contiene diversos compuestos con un potencial beneficio de salud entre los que destacan, los antihipertensivos, vitaminas, minerales y fibra, además, la disponibilidad y su bajo costo de adquisición lo convierte en un gran alimento multifacético (Segura-campos *et al.*, 2016). De igual manera los péptidos provenientes de la proteína de la chía actúan como inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina, siendo una alternativa potencial para el tratamiento de la hipertensión con respecto a las drogas sintéticas. Sin embargo trabajar con una semilla con mucilago, dificulta su manipulación ya que tiende a aglomerarse entre si, por lo que no existe una correcta homegeneización, además este forma una barrera que impide llegar a la semilla y si se quisiera realizar un medio líquido a base de chía para la liberación de compuestos beneficios, se formaría un líquido muy viscoso que afectaría de manera general las condiciones óptimas de agitación, o transferencia de calor, entre otros. En el presente trabajo se realizó la remoción del mucílago de la chía, por diferentes tratamientos, la cual es más fácil de manejar y que servirá para liberar otros compuestos como los antihipertensivos.

MATERIALES Y METODOS: La semilla de la chía fue comprada en la región de Tlaxcala, México, se buscó una semilla de aspecto uniforme como el color, y tamaño. Se eliminaron partículas extrañas con un tamiz de 500 y 841µm de tamaño de poro.



El equipo utilizado para la centrifugación fue: centrifuga Thermo Fisher Scientific FiberLite® F14-6X250 LE, el sonicador fue: Digital Ultrasonic Cleaner modelo 20^a, y Tamiz de pruebas físicas: Mont Inox® 500 y 841µm, y se utilizó la balanza: Voyager® Ohaus 100/210g x 1mg/ 0.001g.

REMOCIÓN DEL MUCÍLAGO: Para llevar a cabo la remoción de mucílago se elaboraron los siguientes tratamientos, donde intervienen la temperatura, el pH, y el tiempo de hidratación, principalmente.

Tratamiento A: A 20g de semilla de chíá, se agregaron 200mL de hexano (relación 1:10) y se colocaron en un recipiente con tapa en agitación por 24h. Pasado el tiempo, se decantó el hexano y se separó. Las semillas se colocaron en un recipiente para secarlas y evaporar el hexano remanente, a temperatura ambiente por 24h.

Tratamiento B: A 10g de semillas de chíá, se agregaron 400mL de agua destilada (relación 1:40) respectivamente, con una solución de NaOH (0.2M) se llevó a pH 8 y calentó a 80°C/30min con agitación, se dejó enfriar a temperatura ambiente, hasta alcanzar 35°C y se sonico a 20kHz por 30min. Posteriormente se centrifugó a 10,000 rpm/15min/4°C. Se decantó el sobrenadante y el pellet fue secado a 50°C/6h (Muñoz et al., 2012).

Tratamiento C: A 10g de semillas de chíá, se agregaron 500mL de agua destilada (relación 1:50) respectivamente, se calentó a 50°C/ 60min, con agitador magnético, y se filtró en embudo con filtro de tela a vacío. Posteriormente se dejó secar la semilla a temperatura ambiente por 24h.

Tratamiento D: A 10g de semillas de chíá, se agregaron 100mL de agua destilada (relación 1:10). Se dejó hidratar 24h, después se centrifugó a 10,000rpm/10min/4°C, posteriormente se dejó secar la semilla a temperatura ambiente por 24h.

Tratamiento E: A 10g de semillas de chíá, y se agregaron 400mL de agua destilada (relación 1:40) respectivamente, con una solución de NaOH (0.2M) se llevó a pH 8 y calentamos a 80°C/30min con agitación, se dejó enfriar a temperatura ambiente, hasta alcanzar 35°C y se sonico a 20kHz por 50min. Posteriormente se centrifugó a 10,000 rpm/15min/4°C. Se decantó el sobrenadante y el pellet fue secado a 50°C/6h.

Tratamiento F: A 100g de semillas se agregaron 4L de agua destilada y se dejó hidratar por 24h a temperatura ambiente, pasado el tiempo se centrifugó a 10,000rpm/15min/4°C, se decantó el sobrenadante y se pesó, el pellet fue pesado y secado a 50°C por 24 h. Después la semilla fue desgrasada con hexano en relación 1:10 p/v por 24h en agitación, el hexano fue decantado y la semilla fue secada a temperatura ambiente por 24h.

Cálculo de la cantidad de mucílago

Para calcular la cantidad de mucílago en la semilla, se analizó la capacidad de retención de agua (CRA). Para esto se pesó la semilla seca, se hidrató con una cantidad de agua conocida (relación 1:10), se dejó hidratar por 24h a temperatura ambiente y posteriormente se centrifugó a 10,000rpm/15min/4°C, el sobrenadante fue medido con una probeta y también pesado, el pellet también fue pesado. La capacidad de retención de agua de la semilla de chíá es la unidad de medida para conocer la cantidad de mucílago presente en la misma, esta se obtiene con el peso del pellet entre el peso de la semilla seca. Además de ello se calculó el porcentaje de rendimiento de la extracción de mucílago con ayuda de la siguiente ecuación.

$\% \text{ de extracción de mucílago} = (\text{cantidad de mucílago extraído con el método} / \text{cantidad de mucílago en la semilla}) * 100$

Los tratamientos anteriormente descritos se compararon con el tratamiento control, el cual consiste en: la semilla sin ningún tratamiento, y sólo se midió la CRA.



Se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos por los diferentes tratamientos, mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un factor con un $\alpha = 0.05$. Se hizo una comparación de medias (tukey) utilizando el programa SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: El mucílago presente en la semilla empieza a exudarse aproximadamente a los 10 minutos de haberse hidratado, y se forma un gel espeso, uniforme e incoloro (Figura 2).

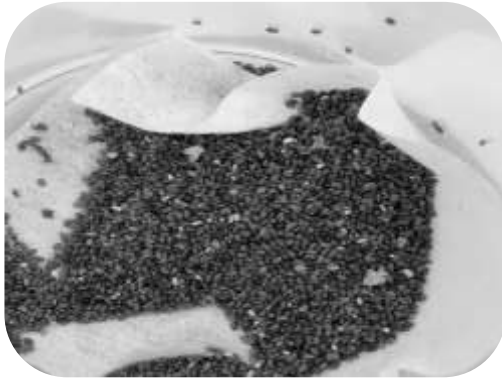


Figura 1.- Semilla de chía

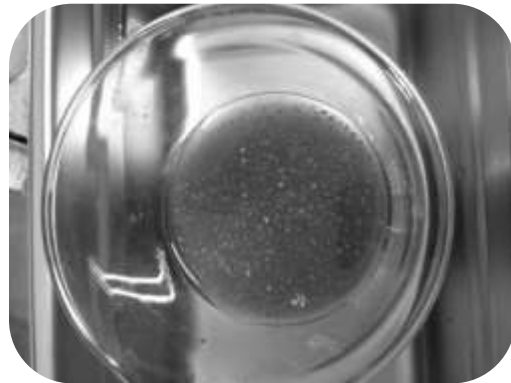


Figura 2.- Hidratación de semilla de chía

En la figura 3 se observan los resultados de la capacidad de retención de agua (CRA) presente en las semillas asistidas bajo los diferentes tratamientos. Esta CRA nos indica la cantidad de mucílago presente en las semillas de chía. No hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los diferentes tratamientos (A-F). Sin embargo existe diferencia entre el control y los demás tratamientos. Lo que nos indica que todos los tratamientos tuvieron efecto en la remoción del mucílago.

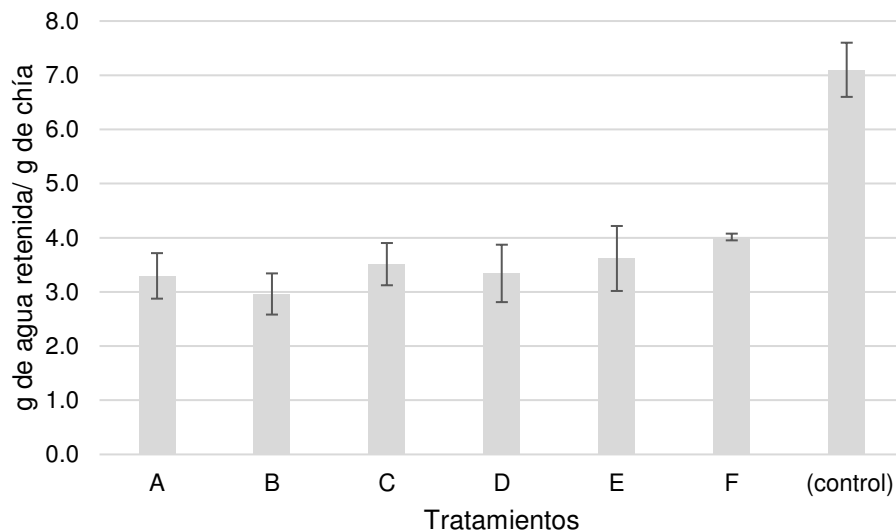


Figura 3. Capacidad de retención de agua en los diferentes tratamientos utilizados para extraer el mucílago de la semilla de chía



Al comparar los tratamientos B (30 minutos) y E (50 minutos), se puede observar que el tiempo de sonificado no tuvo efecto en la remoción del mucílago

No tuvo efecto significativo el aumento en la temperatura del tratamiento, ya que al comprar el tratamiento C y D, no encontramos diferencia significativa.

Al parecer el efecto del pH fue nulo, ya que al comparar los tratamientos sólo con agua, con los tratamientos de NaOH, no hubo diferencia significativa.

El desgrasado no tuvo efecto en la remoción del mucílago, ya que al comparar el tratamiento A (desgrasado), con el tratamiento D (hidratación) y el F (hidratación + desgrasado), no se observó diferencia significativa.

Al parecer el tratamiento B, donde se utilizó NaOH, temperatura de 80°C y sonicación, removió un poco más de mucílago (59%). Sin embargo, como ya se mencionó, no fue diferente significativamente con los demás tratamientos.

Al parecer el tratamiento B, donde se utilizó NaOH, temperatura de 80°C y sonicación, removió un poco más de mucílago (59%) como se observa en la Tabla 1. Sin embargo, como ya se mencionó, no fue diferente significativamente con los demás tratamientos.

Tabla 1. Rendimiento de remoción de mucilago

Tratamiento	% de remoción
A	55
B	59
C	51
D	54
E	49
F	44
Control	0

Otros autores han reportado que al aumentar la temperatura (Felisberto *et al.*, 2015), al aumentar el pH (Muñoz *et al.*, 2012) y al utilizar sonicación (Salazar Bautista E, 2017), se puede aumentar la extracción o remoción del mucílago de las semillas de chíá. Sin embargo, en este trabajo no se obtuvieron esos resultados. Tal vez se pudo deber, en el caso del sonificado a la utilización de un sonicador de baño con baja potencia. En lo que se refiere al aumento de la temperatura y el aumento del pH, los resultados sugieren que, al aumentar estos parámetros, hay tendencia a aumentar la remoción del mucílago, sin embargo, no son diferentes significativamente.

Los resultados obtenidos son mejores a los reportados por (Farela, 2017) quienes reportan la remoción del 7% del mucílago, mejores que lo reportado por (Felisberto *et al.*, 2015) cuyo rendimiento de remoción de mucilago fue del 8%, incluso mejores a lo reportado con (Fernandes y Mellado, 2017) con un rendimiento del 6%

El análisis estadístico demuestra que no existe una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos, por lo cual se deben tomar otros criterios para elegir un tratamiento, siendo el más adecuado el tratamiento D, ya que resulta ser el mas económico y no requiere de equipo especializado.

CONCLUSIONES:

En el presente trabajo se obtuvo una remoción de alrededor del 50% del mucílago presente en las semillas de chíá. Esta remoción es mejor a los resultados obtenidos por otros autores.

Con los diferentes tratamientos utilizados se removió el mucilago, la tendencia observada fue que, al aumentar la temperatura, el pH, al emplear sonicador y al desgrasar se aumenta la remoción, sin embargo, no hubo diferencia significativa al utilizar sólo agua y hacerlo a temperatura ambiente. Por lo que se



recomienda usar sólo agua a temperatura ambiente para la remoción del mucílago, ya que, al utilizar otros factores, podría encarecer el proceso y aumentar el tiempo del mismo.

REFERENCIAS:

- Brütsch, L., Stringer, F. J., Kuster, S., Windhab, E. J., & Fischer, P. (2019). Chia seed mucilage - A vegan thickener: Isolation, tailoring viscoelasticity and rehydration. *Food and Function*, *10*(8), 4854–4860. <https://doi.org/10.1039/c8fo00173a>
- Enes, B. N., Moreira, L. de P. D., Toledo, R. C. L., Moraes, É. A., Moreira, M. E. de C., Hermsdorff, H. H. M., Noratto, G., Mertens-Talcott, S. U., Talcott, S., & Martino, H. S. D. (2020). Effect of different fractions of chia (*Salvia hispanica* L.) on glucose metabolism, in vivo and in vitro. *Journal of Functional Foods*, *71*(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104026>
- Farela, L. E. (2017). “Extracción y caracterización del mucílago de la semilla de chan (*Salvia hispánica* L.) para la determinación de los parámetros de aplicación como aditivo espesante en función a la concentración en mermelada de fresa.” 140.
- Felisberto, M. H. F., Wahanik, A. L., Gomes-Ruffi, C. R., Clerici, M. T. P. S., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2015). Use of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage gel to reduce fat in pound cakes. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(2), 1049–1055. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.114>
- Fernandes, S. S., & Salas-Mellado, M. de las M. (2017). Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. *Food Chemistry*, *227*, 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.075>
- García-Salcedo, Á. J., Torres-Vargas, O. L., & Ariza-Calderón², H. (2017). Physical-chemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranth (*Amaranthus caudatus* L.), and chia (*Salvia hispanica* L.) flours and seeds. *Acta Agronomica*, *67*(2). <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.63666>
- Kobus-Cisowska, J., Szymanowska, D., Maciejewska, P., Kmiecik, D., Gramza-Michałowska, A., Kulczyński, B., & Cielecka-Piontek, J. (2019). In vitro screening for acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase inhibition and antimicrobial activity of chia seeds (*Salvia hispanica*). *Electronic Journal of Biotechnology*, *37*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.10.002>
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., & Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering*, *108*(1), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.037>
- Salazar Bautista E, L. S. S. (2017). *Producción de péptidos bioactivos de proteína de chía (Salvia hispanica L.) por medio de Lactobacillus sp.*
- Segura-campos, M. R., Chel-guerrero, L. A., Rosado-rubio, J. G., & Betancur-ancona, D. A. (2016). Functional Properties of Traditional Foods. *Functional Properties of Traditional Foods*, 199–206. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7662-8>



CAMBIOS POSTCOSECHA EN CONSUMO DE AGUA Y PÉRDIDA DE PESO EN MUTANTES (M₀) DE ALHELÍ

POST-HARVEST CHANGES IN WATER CONSUMPTION AND WEIGHT LOSS IN MUTANTES (M₀) OF ALHELÍ

¹Pérez Jiménez G., ¹ Martínez Ruiz A., ²Fuentes Escobar G. I., ³De la Cruz Torrez E., ⁴López Morales F.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental San Martinito, Santa Rita Tlahuapan, Carretera Federal Mexico-Puebla Km 56.5, CP 74100. ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México – Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México. CP 56230. ³ Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Laboratorio de radiobiología. Carretera México-Toluca, La Marquesa S/N Ocoyoacac México. C. P. 52750. ⁴Centro de Agroecología. Instituto de ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, EcoCampus Valsequillo, Edificio CAL1, KM1.7 Carretera a San Baltazar Tetela, C.P72960, San Pedro Zachimalpa, Puebla.

*Autor para correspondencia: perez.genaro@inifap.gob.mx

RESUMEN

El presente estudio fue conducido bajo el objetivo de determinar los cambios producidos por la radiación de ⁶⁰Co de las selecciones Nieve y Uva de flores de corte de alhelí en sus tratamientos postcosecha, respecto al consumo de agua y pérdida de peso por inflorescencia. El diseño experimental fue en bloques completamente al azar, se analizaron las combinaciones de dos genotipos (nieve y uva) y seis dosis de radiación más un testigo sin radiación a ⁶⁰Co. Las variables analizadas fueron el consumo de agua y pérdida de peso por inflorescencia. Los resultados del análisis de varianza mostraron que existieron diferencias estadísticas en genotipo, radiación y la interacción de genotipos por radiación en la pérdida de peso por flor, mientras que en el consumo de agua no se mostraron diferencias en los genotipos, pero en las demás fuentes de variación si se mostraron diferencias. La comparación de medias (Tukey, 0.05) en el consumo de agua en las dosis de radiación mostró que los mutantes generados a 150 Gy obtuvieron un mayor CA y mostraron una pronta senescencia a través de la PPT, respecto al CA y PPT el genotipo Nieve mostró un sistema eficiente al mostrar menor consumo y pérdida de peso con optima vida de anaquel cuando fueron tratados a dosis de 110 Gy. Se concluye que mutantes de Uva generados a 50 y 70 Gy mantienen mayor longevidad postcosecha que mutantes generados de la selección Nieve en dosis mayores a 90 Gy.

Palabras clave: *postcosecha, vida de florero, marchitez.*

INTRODUCCIÓN

La longevidad en postcosecha de flores de corte es un importante criterio de selección para los consumidores (Salam *et al.*, 2015; In y Hee, 2018), debido a que menor vida después del corte representa pérdidas y una larga vida en florero en posibles ganancias económicas debido a un buen manejo del punto de corte y prácticas de manejo (In y Hee, 2018).

La pronta senescencia en flores de corte se debe a un déficit de absorción de agua causado por desorden vascular y obstrucción de los vasos conductores por el crecimiento microbiano en la solución en absorción (Su *et al.*, 2019), inducción de embolismo (Van Ieperen *et al.*, 2002) y al bajo contenido de carbohidratos presentes en las hojas (Marissen y La Brijn, 1995).

Los resultados actuales afirman que la vida de florero se relaciona a la producción excesiva de compuestos reactivos de oxígeno (ROS), incluida la sobreproducción del radical anión superóxido, el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (Su *et al.*, 2019), y la pronta síntesis de etileno, debido a que este último es la principal causa del marchitamiento (Liu *et al.*, 2018).

La marchitez inicia por la pérdida de color en pétalos y la disminución en la longevidad de los mismos, disminución del peso del tallo floral, causada por la degradación de cloroplastos, proteínas, y lípidos que dan origen la abscisión del tejido vegetal (Ma *et al.*, 2018; Su *et al.*, 2019).



De lo anterior, que los programas actuales de mejoramiento genético de estas especies se encuentran en la activa labor de generar nuevos materiales que superen esta limitante. Por lo tanto, el objetivo que plantea el presente estudio es determinar las dosis que mejor estimule una mayor vida de florero por una menor pérdida de peso por flor y mínimo consumo de agua en mutantes generados en seis dosis con ^{60}Co de las selecciones Nieve y Uva.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) muestras de semillas las selecciones Nieve y Uva fueron irradiadas a 50, 70, 90, 110, 130 y 150 Gy con ^{60}Co . El manejo de las semillas, inicio con la etapa de germinación en charolas con turba, donde, por cada alveolo se depositaron dos semillas. Durante el desarrollo de plántula, fueron irrigadas con la solución nutritiva Steiner al 10 %. La etapa de trasplante fue transcurridos los 40 días, con un marco de plantación de 15 x 15 en una cama de arena. Post-trasplante los riegos fueron constantes, realizando aplicaciones al *drench*, donde la solución Steiner fue en aumento hasta el 50 % al inicio de la etapa reproductiva del cultivo.

De forma visual fueron seleccionados 10 tallos en base a semejanza morfológica. Por cada tallo fue determinado el peso (g) en fresco, para después ser puesto en un frasco con 300 mL de agua desionizada (volumen inicial), y colocado dentro de una incubadora con una temperatura constante de 22 ± 3 °C con un fotoperiodo de 16 h luz⁻¹ y 8 h oscuridad⁻¹. Al cuarto día se hizo labor de mantenimiento, cortando dos centímetros a la base del tallo y realizando cambio del agua del frasco. Durante ocho días se registró la pérdida de peso del tallo (PPT) y el consumo de agua (CA).

Se mantuvo el registro de la evapotranspiración de la incubadora y el valor fue sumado al total del consumo de agua en las unidades experimentales. A los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, 0.05), por genotipo, radiación e interacción genotipo radiación con el software estadístico SAS ver.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La interacción genotipo*radiación muestra altas diferencias significativas ($p < 0.0001$) para el consumo de agua (CA) y pérdida de peso por flor. Mientras que en radiación solo se mostraron altas diferencias ($p < 0.01$) en PPF, y diferencias del 0.05 en CA. El ANOVA de genotipos en el CA no mostró diferencias estadísticas y solo en PPF las mostró al 0.05 de significancia. Al respecto, se infiere que durante la selección de tallos con semejanza para la distribución de los tratamientos se discrimino la variabilidad que pudo haber influido en la significancia para el consumo de agua.

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza en variables postcosecha.

FV	CM	
	CA	PPF
Genotipo	2242.4 ns	17976.04 *
Radiación	10852.8 *	16880.21 **
Genotipo*Radiación	21186.8 **	14636.51 **
ERROR	2212.16	2177.61
CV	25.00	61.46
R ²	0.61	0.62

** : altamente significativo con $p \leq 0.0001$; *significativo con $p \leq 0.05$; ns: no significativo; CA: consumo de agua; PPF: pérdida de peso en flor; FV: fuente de variación; GEN: genotipo; RAD: radiación; CV: coeficiente de varianza; R²: Coeficiente de determinación.

Para la variable PPF se denota que Uva muestra menor pérdida de peso (60 g) respecto a Nieve (92 g). De lo anterior como se puede observar en la figura 5, Nieve es mas susceptible al amarillamiento y pronta abscisión en hojas, mismas que son sensibles al etileno. Un comportamiento semejante se observa en flores de alstroemeria (*Alstroemeria spp.*) y lilis (*Lilium longifloru*) (Van Doorn, 2011) de la que para prolongar la vida de florero se ha recurrido en aplicaciones de soluciones pulso de altas



concentraciones de sacarosa, agentes antimicrobianos y elevadas concentraciones de ácido gilberelico (AG_3) (Sea *et al.*, 2012), citicininas (Van Doorn, 2011) y recientemente incorporando tratamientos de 1-metilcloropropano (1-MCP) (Cury *et al.*, 2017).

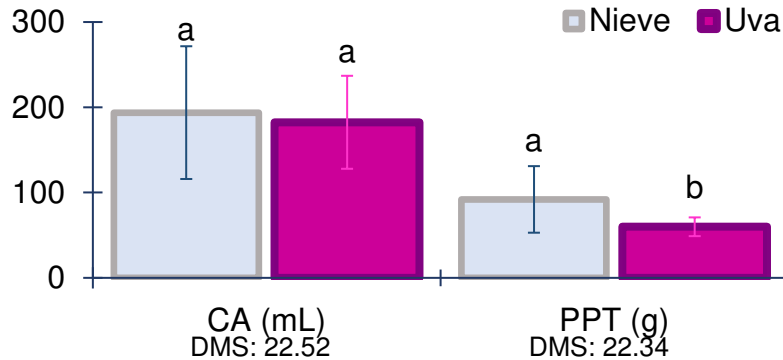


Figura 1. Respuesta de genotipos al consumo de agua y pérdida de peso en vida postcosecha de alhelí. *DMS: diferencia mínima significativa por variable estudio.

La influencia de la radiación sobre el CA se muestra en la figura 2. Los promedios indican una reducción del consumo en dosis de 70, 110 y 130 Gy con una disminución del 22.6, 7.4 y 27 mL respectivamente, con diferencia al testigo. En contraste, el mayor consumo de agua se reporta a los 150 Gy. De lo anterior, concuerda con lo mencionado por Fanourakis *et al.* (2012) quienes afirman que son las características morfológicas y fisiológicas las que influyen sobre las relaciones hídricas de consumo de agua por las flores cosechadas, mostrando ser fuertemente influenciados por la interacción del genotipo al ambiente durante el desarrollo de la flor que en suma determinaran la vida de florero de una flor cortada, de ello que corresponde a lo observado en el fenotipo expresado por mutantes generados a 130 Gy y 150 Gy quienes mostraron mayor número de brotes axilares y área foliar, de ello se incrementó la demanda de agua por la transpiración de las hojas.

Respecto a la pérdida de peso transcurridos los ocho días de iniciada la prueba, se observa que a pesar de no haber diferencias estadísticas (Tukey 0.05) entre el testigo hasta los 130 Gy, la PPT se muestra más severa por la abscisión de hojas y flores en mutantes generados a 150 Gy. De lo anterior se infiere que la radiación afectó significativamente la producción de fenoles, debido a que estos compuestos orgánicos retrasan la senescencia de los tejidos en postcosecha (Zenil *et al.*, 2014).

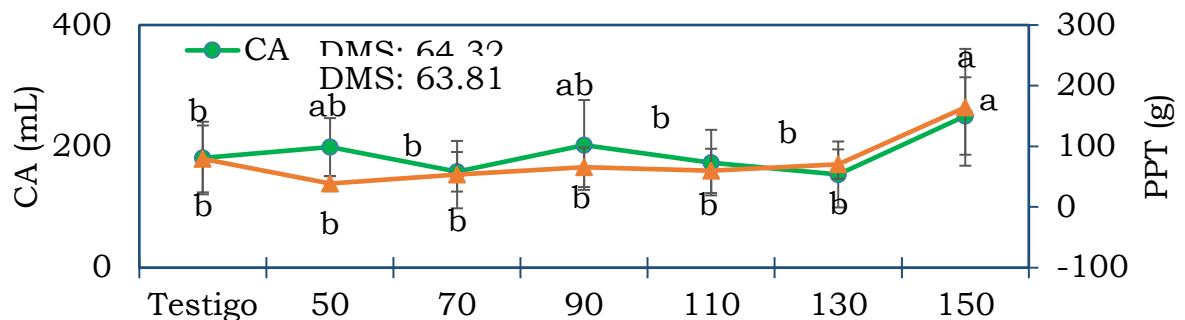


Figura 2. Efecto del consumo de agua y pérdida de peso en seis dosis de radiación con ^{60}Co . *DMS: diferencia mínima significativa por variable estudio.



La comparación múltiple de medias (Tukey, 0.05) por genotipos, se muestra en la figura 3, donde se observa que sin radiación el testigo de Nieve consume 88.56 ml más que Uva. Dado que, en comparación a los mutantes que mayor agua consumen son los generados a 150 Gy en Nieve y 90 Gy en Uva de los cuales se mantiene la constante de 88.42 ml. Así mismo, se afirma que el elevado consumo de agua se atribuye a la acelerada pérdida de agua por los estomas (Drake *et al.*, 2013), y en consecuencia postcosecha la iniciación de la abscisión en hojas y flores debido a un prolongado tiempo que estos se mantienen abiertos (Huang *et al.*, 2018), acelerando la pronta síntesis de etileno. El consumo se disminuye en los mutantes de Nieve a 90 Gy (53.92 ml) y en Uva el genotipo testigo fue el que menor consumo realizó (136.44 ml) y la diferencia entre estos dos materiales no fue tan amplia como aquellos mutantes de mayor consumo de agua generados en altas e intermedias dosis.

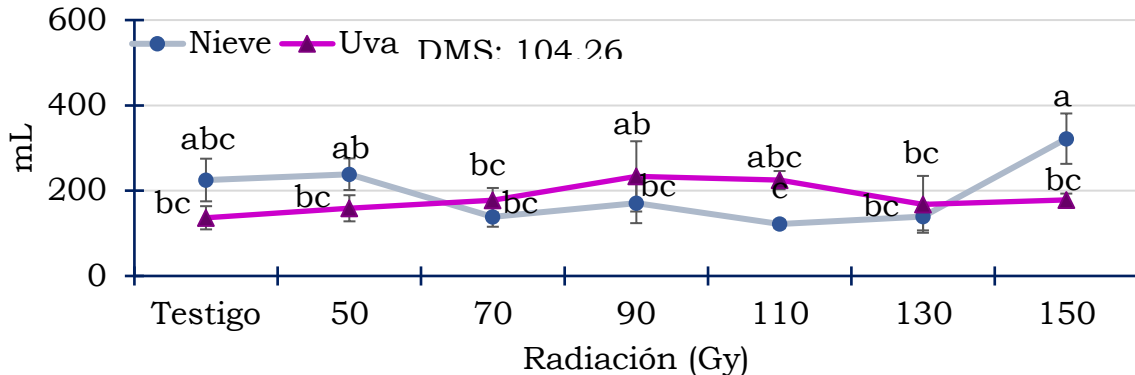


Figura 3. Consumo de agua de mutantes de Nieve y Uva generados por exposición a seis dosis de radiación con ^{60}Co . *DMS: diferencia mínima significativa.

El mayor promedio respecto a la pérdida de peso por tallo floral se reporta en Nieve a 150 Gy con 321.94 g y de 233.52g a 90 Gy en mutantes de Uva. De lo anterior, que en mencionadas dosis la diferencia respecto al testigo es de 96.94 y 97.08 g en Nieve y Uva; aunque se hicieron correlaciones entre las variables para cada genotipo no se encontraron diferencias significativas por debido al amplio rango de variabilidad entre los tratamientos. Además, se observa en contraste al consumo de agua una tendencia que indica que al incremento de radiación el CA es proporcional a la PPT.

Respecto al menor promedio en la PPT en Nieve fue a 110 Gy (121.78 g) y en Uva fue el testigo con un promedio del 136.44 g, declarado lo anterior, se infiere que la radiación indujo mayor variabilidad seleccionable a menor pérdida de peso y mayor vida postcosecha en mutantes de Nieve, mientras que, en Uva, la PPT no fue una constante alterada por la radiación.

CONCLUSIONES

Mutantes generados de Nieve a dosis de 150 Gy y a 90 Gy de Uva duplican el consumo de agua, mientras que solo en Nieve es posible seleccionar mutantes con reducido CA en dosis de 110 Gy. La mejor postcosecha en mutantes de Nieve es a 50 y 110 Gy y en Uva a 50 y 70 Gy por su mínima pérdida de agua y constante consumo de agua. Respecto a PPT, aquellos mutantes de 150 Gy de Nieve presentaron mayor pérdida que aquellos de Uva 90 Gy.

LITERATURA CITADA

- Cury, Galat, V., Muniz, C. A. C., Guimarães, R. J. E., Inestroza-Lizardo, C. O., Fabrino, M. C. M. and Mattiuz, B.-H. 2017. Postharvest conservation of alstroemeria 'ajax' using 1-methylcyclopropene. *Ciência e Agrotecnología*, 41; 181–190. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412032816>
- Drake, P. L., Froend, R. H. and Franks, P. J. 2013. Smaller, faster stomata: Scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. *Journal of Experimental Botany*, 64; 495–505. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers347>
- In, B. C. and Hee, L. J. 2018. Potential vase life of cut roses: Seasonal variation and relationships with growth conditions, phenotypes, and gene expressions. *Postharvest Biology and Technology*,



- 135; 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.09.006>
- Liu, J., Zhang, Z., Li, H., Lin, X., Lin, S., Joyce, D. C. and He, S. 2018. Alleviation of effects of exogenous ethylene on cut ‘Master’ carnation flowers with nano-silver and silver thiosulfate. *Postharvest Biology and Technology*, 143; 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.04.017>
- Ma, N., Ma, C., Liu, Y., Owais, S. M., Wang, C. and Gao, J. 2018. Petal senescence: A hormone view. *Journal of Experimental Botany*, 69; 719–732. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery009>
- Marissen, N. and La Brijn, L. 1995. source-sink relations in cut roses during vase life.. *Acta Horticulture*, 405: 81-88 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.405.9>
- Salam, K. M. A., Younis, A. and Riaz, A. 2015. Postharvest treatments for extending the vase life of cut stock (*Matthiola incana* L.) cv. “Gold cut series” Postharvest Treatments for Extending the Vase Life of Cut Stock. *Agricultural Communications*, 3; 37–42.
- Sea, Y. C., Szydlik, M. and Lukaszewska, A. J. 2012. The effect of postharvest treatments on flower quality and vase life of cut alstroemeria “Dancing queen”. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 20; 147–160. <https://doi.org/10.2478/v10290-012-0024>
- Su, J., Nie, Y., Zhao, G., Cheng, D., Wang, R., Chen, J. and Shen, W. 2019. Endogenous hydrogen gas delays petal senescence and extends the vase life of lisianthus cut flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 147; 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.018>
- Van Doorn, W. G. 2011. The postharvest quality of cut lily flowers and potted lily plants. *Acta Horticulturae*, 900; 255–264. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.900.32>
- Van Ieperen, W., Van Meeteren, U. and Nijse, J. 2002. Embolism repair in cut flower stems: A physical approach. *Postharvest Biology and Technology*, 25; 1–14. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00161-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00161-2)
- Zenil, L. N., Colinas, L. M. T., Bautista, B. C., Vázquez, R. T. R., Lozoya, S. H. and Martínez, D. M. T. 2014. Fenoles totales y capacidad antioxidante estimada con los ensayos DPPH/ABTS en rosas en soluciones preservantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5; 1029–1039. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131532010>



BIOFERTILIZANTE DE DIGESTIÓN ANAEROBIA, COMO PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DE SUELO EN LINDAVISTA 2DA SECCIÓN, PLAYAS DE CATAZAJÁ, CHIAPAS.

ANAEROBIC DIGESTION BIOFERTILIZER, AS A SOIL RESTORATION PROPOSAL IN LINDAVISTA 2ND SECTION, PLAYAS DE CATAZAJÁ, CHIAPAS.

*** Vidal-Jiménez AJ, Pérez Hidalgo WA.**

División Académica de Ingeniería Ambiental,
Tecnológico Nacional de México, Campus de los Ríos; Carretera Balancán-Villahermosa, Km 3,
Balancán, Tabasco.

*autor para correspondencia: ajvidal_3@hotmail.com

RESUMEN

Los mayores problemas físicos de los suelos se han visto afectados por encostramiento relacionados con salinidad, compactación de suelos que deriva de un uso excesivo por ganadería y agricultura que alteran la red de los horizontes del suelo y provocan una compactación considerable. Por esta razón se ha llegado a la necesidad de remediar estos medios con el desarrollo de nuevas tecnologías. (Miranda, 2017). El presente estudio tuvo la finalidad de elaborar un Biofertilizante como propuesta de restauración de suelos compactados por ganadería y agricultura, implementado en una parcela de la comunidad de Lindavista 2da sección, Catazajá, Chiapas. Primeramente se identificó el estado actual de los suelos en la zona de estudio. Posteriormente se elaboró un Biofertilizante de digestión anaerobia por medio de un digestor tipo batch discontinuo, se determinaron los parámetros una vez por semana de Temperatura, Tiempo de retención y pH tomando muestras al sustrato que produce el biodigestor y se determinaron los efectos que tiene el Biofertilizante con una muestra control, como propuesta de Biorremediación de suelos compactados por actividades antropogénicas. Los análisis del muestreo de suelo del área de estudio, muestran que contiene 66% de arenas, 25% de limo y 7% arcilla, la densidad aparente, en los primeros 7 centímetros del perfil A del suelo, oscilaron entre los, (1.30, 1.40, 1.25 y 1.27 g/cm³). El comportamiento de la porosidad del suelo después de la aplicación de los tratamientos, reporta una diferencia mínima significativa de la aplicación de los tratamientos con respecto al testigo. El Biofertilizante que se obtuvo por el proceso de digestión anaerobia, presentó una influencia positiva en las propiedades físicas del suelo resultando adecuado para la producción, agricultura y mejoramiento de suelos.

Palabras clave: *Compactación, Erosión, biodigestor, prueba tukey.*

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más serios en la agricultura es la pérdida de espacio poroso de los suelos, este fenómeno es denominado compactación y está íntimamente relacionado con el manejo de los suelos especialmente en el uso inadecuado de maquinaria.

La actividad ganadera no pasa inadvertida sobre las propiedades de los suelos sobre los que se desarrollan. El efecto más importante viene provocado por la acción de las pezuñas animal al transitar por el suelo, la presión aplicada por la pezuña del ganado durante el pastoreo a través de su peso y de la propia acción de caminar provocan sobre el suelo una degradación física, provocando la compactación del mismo. (PEREZ, 1988)

La estructura de suelo ideal se compone de un 50% de suelo, 25% de espacio de agua y 25% del espacio con aire. La compactación del suelo modifica estas proporciones produciendo un aumento en su densidad aparente. (PRIONER, 2007)

Se dice que el suelo tiene problemas de compactación cuando su densidad aparente es superior a 1.3 gr/cm³, en este estado las raíces de las plantas tienen dificultad para penetrar la matriz del suelo y en



algunos casos se desarrollan horizontes reduciendo el aprovechamiento de los nutrientes, el agua y el anclaje de las plantas (Anzures, 2009)

Los abonos orgánicos han sido recomendados para los suelos degradados o sometidos a cultivos intensos para mantener y mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrientes.

El presente estudio tuvo como objetivo la elaboración de un Biofertilizante como propuesta de Biorremediación de suelos degradados en relación a la densidad aparente (D_a) del suelo, los experimentos se realizaron en una parcela de aproximadamente 4 hectáreas ubicada en la comunidad de Lindavista segunda sección que pertenece al municipio de Playas de Catazajá Chiapas, mediante una serie de metodologías propuestas basada en la compactación de suelos. Se realizaron muestreos de campo para el análisis de suelo para la identificación de las características iniciales del suelo experimental. Posteriormente se realizó el diseño de un biodigestor, para la producción del Biofertilizante, el cual fue aplicado en diferentes dosificaciones y este fue evaluado bajo métodos estadísticos, con el fin de identificar la influencia que tiene el Biofertilizante con respecto a la disminución de la densidad aparente del suelo experimental.

MATERIALES Y MÉTODOS

El uso del suelo de la zona, se obtuvo a partir de la digitalización del mapa de uso de suelo, usando capas vectoriales del año 2017, que fueron adquiridas en la plataforma de catálogo de metadatos geográficos de la CONABIO. Teniendo definida la zona experimental para la realización del estudio, se procedió al muestreo de suelo de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000. Se realizó un muestreo de suelo mediante el método sistemático en zig-zag, la toma de muestra se realizó a una profundidad de 30 cm del horizonte (A), cada punto fue georreferenciado (DATUM UTM WGS-84). Las muestras fueron colectadas y conservadas de acuerdo a la norma oficial mexicana, para su posterior análisis de parámetros fisicoquímicos. La medida de la densidad se realizó en la superficie del suelo y/o en una zona compactada (piso de arado, etc.) si es que está presente. Se pesó la muestra de suelo en su bolsa, y se registró el peso en la libreta de trabajo, se pesó una bolsa de plástico vacía para calcular el peso exacto de la muestra, se mezcló bien la muestra, amasándola con los dedos, seguidamente se tomó una sub muestra no compactada, con un cucharón de 1/8 de taza, de la bolsa de plástico y se puso en un tazón de cerámica. Para la producción del Biofertilizante se realizó la construcción de un biodigestor tipo batch con materiales de bajo costo, usando materiales orgánicos para su alimentación (estiércol de ganado, residuos agrícolas) mezclados en agua, dejándolos por un periodo de 4 semanas a lo largo de las cuales el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan gradualmente descomponiendo la materia orgánica. Para la construcción del biodigestor se requirió de un tanque hermético con salida de biogás, salida de efluente y entrada de material. Se realizó un agujero en la tapa del tanque colocando un adaptador (brida) de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, conectado a una manguera para la salida del biogás. En la parte inferior y media del tanque de bidón se instalaron dos válvulas de paso de $\frac{1}{2}$ " para la salida del efluente y la toma de muestras para el análisis de pH y temperatura. Durante el proceso de digestión anaerobia se determinaron los parámetros una vez por semana de Temperatura, Tiempo de retención y pH tomando muestras al sustrato que produce el biodigestor. El sitio experimental se seleccionó con base al uso del suelo, siendo utilizado para la ganadería, Una vez identificado el sitio se procedió a eliminar las malezas con la ayuda de herramientas de trabajo agrícola, y se dividió en 15 unidades experimentales (UE) con dimensiones de 1 m² x 0.10m, donde se aplicaron 5 tratamiento y 3 repeticiones, a diferentes dosis. En el caso del "efluente" es el caldo obtenido del proceso de digestión anaerobia que también se conoce como biol y este fue diluido en una solución de 1 L de agua para ser aplicado por aspersión en cada metro cuadrado de las unidades experimentales correspondientes al tratamiento. Después de un lapso de 4 días de la aplicación de los tratamientos se sembraron semillas de repollo (*Brassica oleracea*) con el fin de usarlas como indicadoras del efecto de fertilización con los diferentes tratamientos, en relación al crecimiento de las mismas. Al finalizar el experimento se eligieron plántulas al azar de los tratamientos para el análisis de características morfométricas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sitio donde se llevó a cabo el proyecto fue en una parcela de 4 hectáreas aproximadamente, ubicada en la comunidad de Lindavista segunda sección, municipio de Playas de Catazajá, Chiapas, en las coordenadas UTM 605702.647, 1969016.978. El clima es seco y mayormente despejado, con lluvias en verano e invierno fresco, con una temperatura media anual de 20 °C a 36 °C; con rango de 16 °C como media mínima y 39 °C, como media máxima. Las actividades productivas que predominan son la ganadería y agricultura, lo que genera serios problemas de compactación en el suelo o reducción de poros del mismo, ocasionando restricción en la circulación del aire y agua en el suelo.

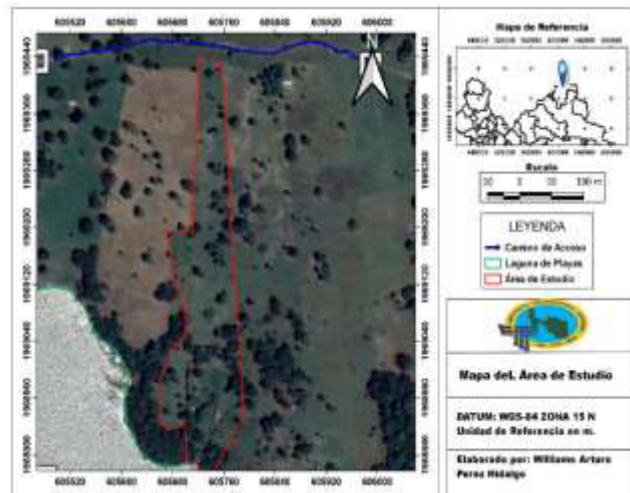


Figura 1. Ubicación del área de estudio
Fuente: Google Earth.

El mapa muestra la cobertura en la zona de estudio tales como pastos cultivados, pastos naturales, agricultura, entre otros.

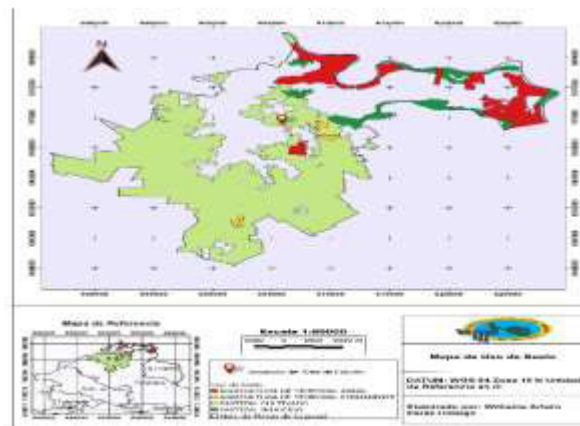


Figura 2. Uso de suelo.

En el mapa se estima que aproximadamente el 51% del suelo es usado por pastizales cultivados, 5% por agricultura y el 8% por pastizal inducido, según con el programa de desarrollo urbano de playas de Catazajá Chiapas. La mayoría de los suelos de la zona se encuentran en el uso de potreros para el ganado seguido de la agricultura, siendo estas últimas las actividades que generan degradación física. Los análisis del muestreo de suelo del área de estudio, muestran que contiene 66% de arenas, 25% de limo y 7% arcilla. De acuerdo al triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados



Unidos (USDA) corresponde a un suelo Franco-arenosa con un contenido de materia orgánica moderado, (Serna, 2011, pág. 106 a 107), Indica que este tipo de suelo se caracteriza por su textura fina y su coloración puede ser amarillento o naranja mate, el contenido de materia orgánica en este tipo de suelo es muy bajo o muy alto, el pH varía de ácido a neutro.

Los valores obtenidos de densidad aparente, en los primeros 7 centímetros del perfil A del suelo, oscilaron entre los, (1.30, 1.40, 1.25 y 1.27 g/cm³) como se muestra en la tabla 1. Por lo que atribuye un papel relevante a las variaciones en los contenidos de materia orgánica como circunstancia de las diferencias observadas en la densidad aparente superficial del suelo.

Tabla 1. Características físicas.

Numero de muestra	Contenido de agua g/g	Densidad aparente g/cm ³
Muestra 1	0.32 g/g	1.30 g/cm ³
Muestra 2	0.291 g/g	1.40 g/cm ³
Muestra 3	0.185 g/g	1.25 g/cm ³
Muestra 4	0.20 g/g	1.27 g/cm ³

El suelo del área de estudio muestra una ligera compactación por los niveles de densidad aparente que presenta, y da lugar a lo que (Anzures, 2009), menciona que un suelo tiene problemas de compactación cuando su densidad aparente es superior 1.3 gr/cm³.



Figura 3. Biodigestor anaerobio. Nota. Elementos del biodigestor:

(1) Tapa hermética, (2) Brida, (3) Adaptador, (4) Abrazadera, (5) Manguera de salida del biogás, (6) Salida del efluente, (7) Grifo para toma de muestra, (8) Biodigestor. **Fuente:** Elaboración propia.

La carga del biodigestor fue del 75% de su capacidad total del tanque. Es decir, ya que el tanque es de 120 L, se dispone de 90 L de mezcla con agua en porción de 1:1 (agua: biomasa) aproximadamente.



Tabla 2. Registro de los parámetros evaluados.

Parámetros	Observaciones
Temperatura	25 a 30°C
pH	7 a 8
Tiempo de retención	35 días.

Los valores de pH están dentro del rango que de acuerdo con (Aguilera, 2017, págs. 69-71), menciona que un proceso fermentativo estabilizado, el pH se mantiene en valores que oscilan entre 6 y 8. El olor del material orgánico contenido dentro del biodigestor es de fermentación. El Biofertilizante en fase sólida suele tener un color marrón oscuro, un agradable olor a tierra y una textura homogénea, con un buen poder fertilizante para suelos degradados. (Pilar Román, 2013).

Tabla 3. Análisis de varianza para la evaluación de la densidad aparente.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamiento	0.04	4	0.01	6.55	0.0074
Error	0.02	10	1.50E-03		
Total	0.05	14			

Nota: (SC) Suma de Cuadrados, (GL) Grados de Libertad, (CM) Cuadrados medios, (F) Estadístico de prueba, (P-Valor) Valor crítico.

Aplicando la prueba de Tukey (Da), se reportó que en los tratamientos del Biofertilizante propuesto, se obtuvo un efecto en la disminución de la densidad aparente del suelo.

Tabla 4. Prueba de Tukey al 5% para los fertilizantes en relación a la (Da). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tratamiento	Medias (gr/Cm ³)	Rango de Significación
Testigo	1.35	A
Tripile-17	1.35	A
Urea	1.32	A
Efluente	1.28	A B
Biofertilizante	1.21	B

Los tratamientos mantienen el mismo rango de significancia, no tienen diferencias significativas por lo que se estima que el biofertilizante tuvo un efecto significativo, ya que reporta la menor media en relación a la densidad aparente.

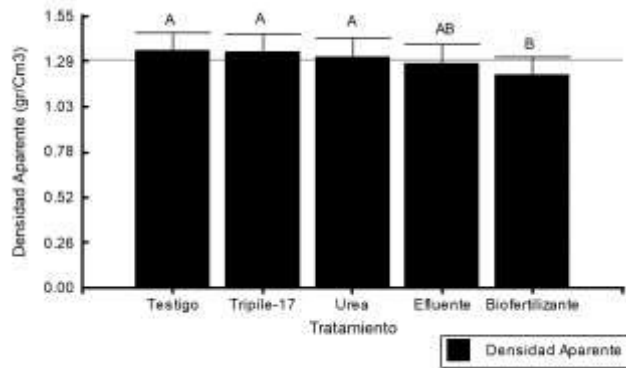


Figura 4. Comportamiento de la densidad aparente respecto a los tratamientos.

Se puede apreciar que el efecto del Biofertilizante sobre la disminución de la densidad en el suelo, en comparación con los demás tratamientos no muestran una diferencia significativa, por lo cual se entiende que no influyen en la disminución de la densidad aparente del suelo, (Moreno, 2011) indica que los Biofertilizantes en forma sólida son buenos acondicionadores o mejoradores de las propiedades físicas de los suelos, que aportan niveles interesantes de materia orgánica estabilizada. La incorporación de estos sustratos orgánicos en el suelo permite mejorar la estructura de este, reduciendo problemas de compactación y susceptibilidad de erosión.

Tabla 5. Análisis de varianza para los espacios porosos.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	41.73	4	10.43	7.11	0.0056
Error	14.67	10	1.47		
Total	56.4	14			

Nota: (SC) Suma de Cuadrados, (GL) Grados de Libertad, (CM) Cuadrados medios, (F) Estadístico de prueba, (P-Valor) Valor crítico.

El comportamiento de la porosidad del suelo después de la aplicación de los tratamientos, reporta una diferencia mínima significativa de la aplicación de los tratamientos con respecto al testigo. La prueba de Tukey al 5% para el factor de fertilizante en la variable porosidad (%), reportó que las dosis aplicadas del Biofertilizante tuvieron efecto sobre la porosidad del suelo.

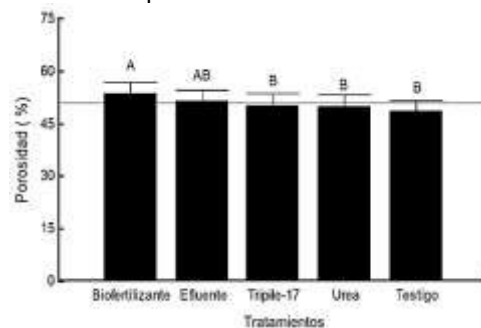


Figura 5. Comportamiento de la porosidad respecto a los tratamientos.

La variable de porosidad (%) fue influenciada por el tratamiento, Biofertilizante (1 kg/m², 0.5 kg/m² y 0.25 kg/m²) al presentar 53.67 % de espacios poroso, seguido del tratamiento del efluente que presentó



51.33 % espacios porosos, este último no muestra diferencia significativa con respecto al testigo y a los de más tratamientos.

Los valores obtenidos de las alturas de las plantas que se tomaron de manera al azar de las unidades experimentales, se analizaron estadísticamente, aplicando la prueba de Tukey al 5% donde se observa una diferencia significativa en la comparación de medias de los tratamientos.

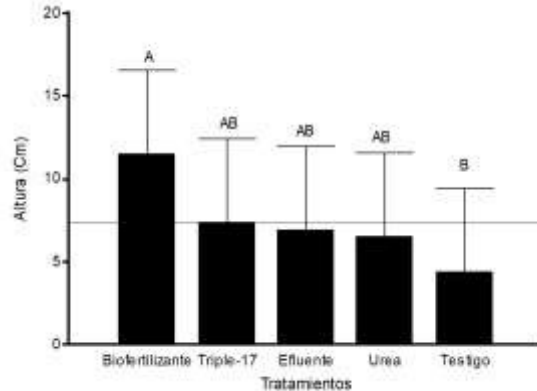


Figura 17. Comportamiento de las alturas de las plantas respecto a la prueba de Tukey al 5%.

La altura de las plantas fue influenciada por el tratamiento de Biofertilizante con las dosis de aplicación de 1 kg/m², 0.5 kg/m² y 0.25 kg/m² ya que muestra la mayor media de alturas con respecto al testigo. La altura de las plantas fue mayor por el Biofertilizante de tipo naerobio, en comparación que los otros tratamientos, lo que da lugar a lo que (Darwin Vázquez, 1999) indica que la aplicación los bioabonos en los suelos degradados mejoran el intercambio catiónico. Con ello se implica la disponibilidad de nutrientes del suelo y contribuye a aumentar la humedad del suelo y la creación de un microclima adecuado para las plantas. Siendo estos sustratos una fuente orgánica de fitoreguladores, en pequeñas cantidades capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede aceptar la hipótesis planteada para el diseño, ya que el Biofertilizante si muestra efectos positivos en las características físicas de suelo. El tratamiento del Biofertilizante producido por digestión anaerobia tuvo un cambio significativo de la densidad aparente y la porosidad del suelo durante el tiempo del experimento.

El tratamiento del Biofertilizante presentó una mayor altura de las plantas al ubicarse en el primer rango con 11.5 cm en la altura.

El Biofertilizante que se obtuvo por el proceso de digestión anaerobia, de acuerdo con los resultados presentó una influencia positiva en las propiedades físicas del suelo dando lugar a lo que (ICAITI, 1985), indica que los bioabonos aplicados a suelos que han perdido sus características originales (fertilidad, porosidad, etc.) hacen que las recuperen y contribuyan a que los suelos no sufran un progresivo deterioro. La tecnología de Biorremediación considera como alternativa el aprovechamiento de excretas de animal y residuos vegetales con el fin de transformarlos de residuos contaminantes a Biofertilizantes más estabilizados, empleándose a la enmienda orgánica en suelos compactos y con el propósito de mejorar las propiedades actuales del suelo dañado de tal forma que permita controlar de manera efectiva los procesos de erosión y favorecer la actividad biológica del suelo, además de mejorar la porosidad, y por consiguiente la aireación, logrando un suelo más productivo y beneficioso para los productores además de disminuir los impactos negativos generados al ambiente.

LITERATURA CITADA

Anzures, C. C. (2009). Efecto de los Mejoradores de Suelo Miyaorganic y Algenzims en la Disminución de la Densidad Aparente de un Suelo Arcilloso (TESIS). Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Baver et al., 2. (2002). Facultad de agronomía universidad de la república. Propiedades físicas del suelo, 4.



-
- Bertsch, F. (2006). Universidad de Costa Rica. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica.
- Chavarría, F. (2007). Edafología.
- Díaz-Romeu, R. H. (2009). Metodología de muestreo de suelos. análisis químico.
- Fries et al. . (2010). Cambio de uso de suelo en la cuenca del río Sabinal, 45.
- Garriz, A. y. (2001). muestreo de suelo para evaluar su fertilidad, 12.
- Gaucher. (2002). propiedades físicas del suelo, 58.
- Gordillo-Ruiz. (2017). Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México, 10.
- Grez, R., Piel, A., & Añazco, R. (2000). Agroquímica, 12.
- Guevara, G. (2009). Efecto de la rotación en siembra directa sobre parámetros físicos de suelo. 12.
- Haberl. (2014). Manual de conservación de suelos y agua.
- Leenheer, 2. (2001). Facultad de agronomía universidad de la república. Propiedades físicas del suelo, 11.
- Mercedes, C. (2017). Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México.
- Molina, E. y Meléndez, G. (2002). Tabla de interpretación de análisis de suelos.
- Molina, M. (2008). Centro de Investigaciones Agronómicas. ANÁLISIS DE SUELOS.
- Moreno, M. T. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. (2000). Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudio, muestreo y análisis.
- PEREZ, D.-F. (1988). "Resistencia del suelo y susceptibilidad a la compactación en terrenos a monte sometido a pastoreo. Anuales de Edafología y Agrobiología.
- PRIONER. (2007). Compactación del suelo. Boletín Técnico.
- Ramírez, F. (2002). Centro de Investigaciones Agronómicas. Muestreo de suelos para diagnóstico de fertilidad.
- Robert. (2001). Universidad Autónoma Chapingo. Guía para interpretar el análisis químico del suelo y agua.
- Rucks, e. a. (2004). Facultad de agronomía Universidad de la república. Propiedades físicas del suelo, 54.
- Sánchez, B.; Ruiz, M. y Ríos, M.M. (2006). EDAFOLOGIA.
- SEMARNAT. (2003). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana.



OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA LA PROPAGACIÓN IN VITRO DE ATRIPLEX TALTALENSIS PARA SU CONSERVACIÓN Y RESCATE DE CARACTERÍSTICAS DESEABLES.

PARAMETERS OPTIMIZATION FOR IN VITRO PROPAGATION OF ATRIPLEX TALTALENSIS FOR ITS CONSERVATION AND RESCUE OF DESIRABLE CHARACTERISTICS.

¹Muñoz C., ¹Soto J., ¹Román-Figueroa, C., ²Paneque M.

¹Fundación Bionostra Chile Research. Almirante Lynch 1179, San Miguel, Santiago, Chile.

²Laboratorio de Biotecnología Ambiental y Bioenergía – Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santa. Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile.

Autor para correspondencia: mpaneque@uchile.cl

RESUMEN

Atriplex es un género de plantas arbustivas, cosmopolita y multipropósito, que crecen en suelos áridos, salinos, con baja disponibilidad de agua y nutrientes. Presentan altos valores de producción de biomasa y algunas especies suministran un alto contenido de proteína para el ganado, siendo una alternativa para producir forraje en zonas áridas. Pese a su amplio uso, son escasos los trabajos que permiten la propagación y conservación de especies de este género, como ocurre con la especie nativa endémica de Chile, *A. taltalensis*, que se encuentra en estado de conservación bajo la categoría de Peligro de Extinción (EN). El objetivo de este estudio fue evaluar un mecanismo de propagación vegetativa mediante una organogénesis *in vitro* en *A. taltalensis* con fines de conservación y rescate de características deseables, que se desarrolla bajo condiciones edafoclimáticas extremas del norte de Chile (Desierto de Atacama). A partir de vitroplantas se extrajeron explantes iniciales de brotes, los que fueron incubados en diferentes medios de cultivo sólidos compuestos por sales y vitaminas de Murashige y Skoog (MS) y diversas concentraciones de fitoreguladores sintéticos, realizando subcultivos continuos. Se evaluaron parámetros como el número de brotes (n), longitud de brotes (cm), número de yemas (n) y el enraizamiento (%) de las plantas desarrolladas. Durante la etapa de multiplicación se promovió la formación de brotes basales y yemas en medios con 6-bencilaminopurina (BAP) y ácido indolbutírico (IBA), observándose hiperhidricidad de los brotes a concentraciones de BAP de entre 0.25-1.00 mg L⁻¹. La elongación de brotes y el desarrollo de plantas completas fue promovido en medios con IBA a una concentración de 0.50 mg L⁻¹, obteniéndose la formación de brotes axilares y enraizamiento de las plantas. Estos resultados demostraron que es posible emplear técnicas de cultivo *in vitro* para la obtención de nuevos individuos de esta especie, permitiendo su conservación.

Palabras clave: *Atriplex taltalensis*, propagación vegetativa, organogénesis *in vitro*, hiperhidricidad.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de Atriplex corresponden a arbustos leñosos perennes, con un gran número de especies distribuidas en todas las zonas áridas y semiáridas del mundo (Rosas, 1989; Reyes *et al.*, 2008; Brigone *et al.*, 2016). Crecen bajo condiciones ambientales adversas como, temperaturas extremas, intensidad de luz, salinidad del suelo y recurso hídrico limitado (Serra, 1997; Kumar *et al.*, 2019), lo que las hace altamente tolerantes a la aridez y salinidad (Aldahhak *et al.*, 2010). Habitan en suelos con bajo contenido nutricional, evitando la competencia por territorios con cultivos agrícolas (Paneque, 2018).

Atriplex taltalensis IM Johnst (cachiyuyo) es una especie endémica de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, Chile (Brigone *et al.*, 2016). Ocupa un área restringida en la costa de Antofagasta, creciendo desde el sector de Morro Moreno, hasta Palo Parado (norte de Taltal), sólo en la zona litoral y hasta los 500 m de altitud en la zona de neblina (Gutiérrez y Lazo, 1996). Forma pequeñas subpoblaciones con individuos espaciados, llegando a ser escasos (Johnston, 1929). La mayor abundancia de esta especie se reconoce en años lluviosos debido a eventos ENOS (El Niño-Oscilación



del Sur). Mientras, en años secos, los individuos pueden llegar a desaparecer (Gutiérrez y Lazo, 1996), tendencia que irá en aumento debido a las proyecciones de cambio climático para el norte de Chile (Araya-Osses *et al.*, 2020).

Las plantas de *A. taltalensis* presentan un crecimiento bajo, con tallos decumbentes de hasta 50 cm de alto, con hojas ovales de color verde glauco de 1.5 cm de largo y ancho. Sus semillas son oscuras y orbiculares de 1.0 a 1.5 cm de diámetro, las que presentan un bajo poder germinativo (Rosas, 1989; Biota, 2019). Se ha indicado que la reproducción de plantas de *Atriplex* a partir de semillas se ve dificultada en diversas especies, debido a la dormancia y al corto período de viabilidad que estas presentan (Kumar *et al.*, 2019), sumado al bajo porcentaje de germinación (menos del 2%; Terrán *et al.*, 1998), debiendo emplearse el enraizamiento de esquejes para la obtención de nuevas plantas. Esto último requiere importantes disponibilidades de tiempo y espacio (Sen y Rajput, 1995; Biota consultores, 2019), siendo una limitante para la propagación masiva de la especie.

A. taltalensis se ve principalmente amenazada por el pastoreo, el pisoteo y la degradación general de su hábitat causada por caprinos, que incluye además erosión e introducción de especies invasoras (Gutiérrez y Lazo 1996; MMA, 2019). Actualmente, esta especie se encuentra en estado de conservación bajo la categoría de Peligro de Extinción (EN) (MMA, 2019). Pese a su alto riesgo de desaparecer, no se cuentan con trabajos enfocados a su reproducción masiva, donde se empleen métodos eficientes de propagación, como medida para su conservación. La implementación de tecnologías que permitan la propagación exitosa y a gran escala como, las técnicas de cultivo *in vitro* de tejidos vegetales (George *et al.*, 2008; García *et al.*, 2012; Moola y Kumari, 2020), y que, a su vez, contribuyan a la conservación de especies (Uribe *et al.*, 2008; Cob *et al.*, 2010; Indacochea *et al.*, 2018), permitirían generar información relevante y los cimientos científicos para la conservación y valorización de *A. taltalensis*.

El objetivo de este estudio fue desarrollar una metodología de propagación *in vitro* de *Atriplex taltalensis* mediante organogénesis directa, evaluando el efecto de medios de cultivo con fitorreguladores para promover la multiplicación de brotes y el desarrollo de plantas, con fines de conservación y rescate de características deseables.

Materiales y métodos

La propagación *in vitro* de *A. taltalensis* se realizó en dos etapas, la primera correspondió a la multiplicación de brotes en diferentes medios de cultivo con fitorreguladores, realizando sub-cultivos sucesivos, para determinar el tipo de combinación fitohormonal más efectivo en el proceso de proliferación de los brotes. La segunda etapa correspondió a la etapa de alargamiento y enraizamiento de brotes obtenidos en la etapa de multiplicación, en medios para inducir su alargamiento, enraizamiento y el desarrollo a planta completa. Actualmente, esta última etapa se encuentra en proceso de desarrollo.

Lugar de estudio

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Cultivo *in vitro* de Tejidos Vegetales de la Fundación Bionostra Chile Research, ubicado en la comuna de San Miguel, Región Metropolitana de Santiago, Chile, durante el periodo de marzo-agosto de 2021.

Material vegetal

Plantas de *A. taltalensis* fueron colectadas en la comuna de Talta, Región de Antofagasta, Chile, estas plantas fueron cultivadas *in vitro* en marzo de 2017. El material vegetal utilizado como fuente inicial de explantes corresponde a brotes de *A. taltalensis* provenientes de plantas cultivadas *in vitro* de 28 días de cultivo, obtenidas mediante sub-cultivo.

Medios de multiplicación y cultivo inicial de los explantes

Para la etapa de multiplicación se evaluaron cinco medios de cultivo sólidos, en base al uso de fitorreguladores sintéticos empleados a distintas concentraciones, cuyo rol en procesos fisiológicos de



crecimiento y diferenciación *in vitro* de plantas, ha sido descrito en literatura (Terrán *et al.*, 1998; George *et al.*, 2008; Aldahhak *et al.*, 2010; Papafotiou *et al.*, 2016).

Los medios de cultivo estuvieron compuestos por sales y vitaminas de MS (PhytoTechnology Laboratories) al 100% de su concentración y suplementados con ácido indolbutírico (IBA) sólo o en combinación con 6-bencilaminopurina (BAP) (Cuadro 1), 3.0% p/v de sacarosa y 0.7% p/v de agar como agente gelificante. Se utilizó un medio de cultivo como control, compuesto por sales y vitaminas de MS al 100%, libre de fitorreguladores e igual concentración de sacarosa y agente gelificante. El pH de los medios fue ajustado a 5.8 con NaOH (1M), y fueron esterilizados durante 20 minutos en un equipo de autoclave a 121°C y 1.50 kg cm⁻².

Cuadro 3. Composición de los medios de cultivo utilizados en la etapa de multiplicación, durante la propagación *in vitro* de *Atriplex taltalensis*.

Medio de cultivo	Fitorreguladores (mg L ⁻¹)		Sales y vitaminas	Días de cultivo
	BAP	IBA		
AEmc*	-	-		
AEm1	0.05	0.50		
AEm2	0.25	0.50	MS	45
AEm3	0.50	0.50	100%	
AEm4	1.00	0.50		
AEm5	-	0.50		

*: medio control, sin fitorreguladores.

Para el cultivo de los explantes iniciales, brotes de 1.5 cm de longitud con el desarrollo de 1 a 2 nudos, fueron escindidos desde las plantas *in vitro* y cultivados en frascos de vidrio conteniendo 30 ml de medio de multiplicación. Los explantes fueron incubados durante 45 días con un fotoperiodo de 12 horas de luz fría y 12 horas de oscuridad a 22 ± 2°C. Se cultivaron 15 explantes de brote por cada medio de multiplicación, realizando 4 réplicas.

Sub-cultivo de los brotes desarrollados

Los brotes formados en cada medio de multiplicación fueron sub-cultivados (transferidos) 2 veces cada 30 días en los mismos medios, frescos (Chamorro *et al.*, 2007; Aldahhak *et al.*, 2010). Los sub-cultivos fueron realizados para determinar la eficacia de cada medio de multiplicación sobre la producción eficiente de los brotes (proliferación), y para disponer de explantes en cantidades suficientes para la etapa de alargamiento y enraizamiento.

Mediciones de los brotes

Al término del cultivo inicial (45 días) y sub-cultivos (30 días), se cuantificaron las siguientes variables en los diferentes medios de multiplicación: número de nuevos brotes formados por explante y la longitud (cm) de los brotes (Papafotiou *et al.*, 2016; Aldahhak *et al.*, 2010), medida desde su base hasta el ápice de la última hoja emitida. Se consideró como brote aquellos explantes con la formación de un ápice y entre 1 a 3 nudos. Se registró el número de brotes que fueron enraizados, para determinar el porcentaje de enraizamiento. Adicionalmente, para el sub-cultivo 1 y 2 se registró el número de brotes que presentaron hiperhidricidad. Las variables medidas en el cultivo inicial fueron informadas en función del promedio y en base a descripciones cualitativas de los cultivos.

Análisis estadístico de los datos

Los análisis fueron realizados para las variables correspondientes al sub-cultivo 1. Se analizó un total de 30 explantes por réplica (120 explantes por cada medio de cultivo). Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Posteriormente, se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, para determinar la existencia de un efecto concreto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento de los explantes analizados. Luego, de existir efecto tratamiento, se realizó un análisis de comparación múltiple, mediante la prueba U de Mann-Whitney, para determinar la



existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes medios de multiplicación (Di Rienzo *et al.*, 2005; Rustom, 2012; Fong y Huang, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa de multiplicación

Cultivo inicial de los explantes

Se observó la formación de yemas, el desarrollo de brotes basales y axilares mediante organogénesis directa, el desarrollo de callo, el alargamiento de brotes y el crecimiento de raíces desde los explantes iniciales. Estas respuestas ocurrieron en diferentes períodos de tiempo durante el cultivo de los explantes (Cuadro 4).

Cuadro 4. Respuestas morfológicas obtenidas a partir del cultivo de explantes iniciales de brotes de *A. taltalensis* en medios de multiplicación.

Periodo de cultivo (semanas)	Respuestas morfológicas
1	Base del tallo rojiza y abultada en explantes de los medios AEm1, AEm2, AEm3 y AEm4.
2	Desarrollo de callo en la base de explantes de los medios AEm1, AEm2, AEm3 y AEm4. Desarrollo de raíces en explantes cultivados en los medios AEm1, AEm5 y AEmc (control). Alargamiento de explantes del medio AEm5.
3	Desarrollo de yemas basales en explantes cultivados en AEm1, AEm2, AEm3 y AEm4. Desarrollo de yemas axilares en los nudos de explantes del medio AEm5. Alargamiento de explantes en el medio AEm1 y AEmc.
4	Diferenciación de yemas basales a brotes en explantes de los medios AEm1, AEm2, AEm3 y AEm4. Diferenciación de yemas axilares a brotes en los nudos de explantes alargados del medio AEm5. Desarrollo de yemas axilares en explantes del medio AEm1 y AEmc.
5	Crecimiento de callo y proliferación de brotes basales en explantes de los medios AEm1, AEm2, AEm3 y AEm4. Crecimiento y proliferación de brotes axilares en los nudos de los medios AEm1, AEm5 y AEmc. Alargamiento de raíces en explantes de los medios AEm1 y AEm5.
6	Crecimiento de brotes basales (AEm1, AEm2, AEm3 y AEm4) y axilares (AEm1, AEm5 y AEmc). Formación de plantas enraizadas en los medios AEm1, AEm5 y AEmc.

Efecto de fitorreguladores sobre la formación de brotes basales

Los medios de multiplicación AEm1, AEm2, AEm3 y AEm4 (Cuadro 1) estimularon la formación y diferenciación de yemas basales a brotes, los que crecieron de manera agrupada en la base de los explantes iniciales (Figura 6 A-D). Los brotes de estos medios presentaron hojas con ápices redondeados y tallo grueso (Figura 6 E). En estos medios de multiplicación se obtuvo entre un 37-75% de respuesta de formación de brotes basales, del total de explantes cultivados (Cuadro 5). Los explantes que experimentaron una baja respuesta de brotación, presentaron un alto número de nuevos brotes/explante al término del cultivo (45 días), generando entre 150 a 320 brotes totales (Cuadro 5). La concentración fitohormonal de los medios AEm3 y AEm4 permitieron la mayor cantidad de brotes basales por explante, con un promedio de 12 y 15 brotes, respectivamente (Cuadro 5). Todos los explantes cultivados en estos medios desarrollaron tejido de callo no organogénico en su base (100%), sin experimentar formación de raíz.

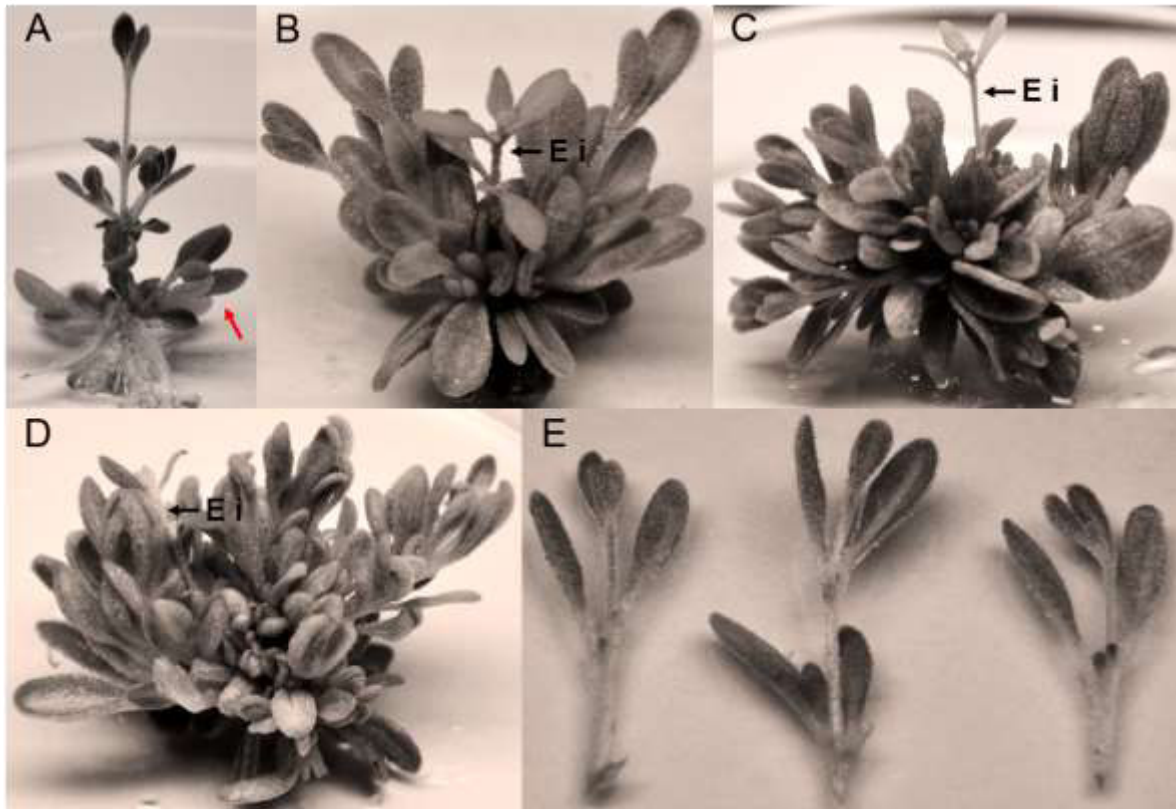


Figura 1. Brotes basales de *A. taltalensis* obtenidos *in vitro* a partir del cultivo de explantes iniciales en medios de multiplicación suplementados con BAP e IBA. Brotes creciendo agrupados desde la base de explantes en AEm1 (A; flecha roja), AEm2 (B), AEm3 (C) y AEm4 (D). Aspecto morfológico de los brotes basales desarrollados (E). Explante inicial (Ei).

Efecto de fitorreguladores sobre la formación de brotes axilares y plantas completas

El medio de multiplicación AEm5 y el control (AEmc) (Cuadro 1) estimularon el alargamiento de los explantes iniciales, y la formación y diferenciación de yemas axilares a brotes, en los nudos de las plantas desarrolladas (Figura 6 A y B). De igual forma, el medio de multiplicación AEm1 (Cuadro 1) promovió estas mismas respuestas, pero en menor medida (Figura 6 C; Cuadro 3). Los brotes presentaron hojas con ápices más definidos y tallo delgado (Figura 6 D). Se obtuvo entre un 30 y 65% de respuesta de formación de brotes axilares en estos medios (Cuadro 5), siendo el medio AEm5 el que promovió el mayor número de brotes por explante, con un promedio de 7 brotes, generando un total de 271 brotes axilares (Cuadro 5). Los explantes de estos medios presentaron una rápida respuesta de elongación y enraizamiento (2^{da} semana), estimulando el desarrollo de plantas completas y enraizadas al final del cultivo (Cuadro 4; Figura 6 A-C). El porcentaje de formación de raíces fue mayor en el medio AEm5 con un 90%, seguido del medio control y AEm1 con un 73 y 47%, respectivamente (Cuadro 5). Las plantas desarrolladas en los medios AEm1 y AEm5 presentaron un mayor número de raíces y de mayor longitud en comparación a las plantas obtenidas en el medio control (datos no medidos).

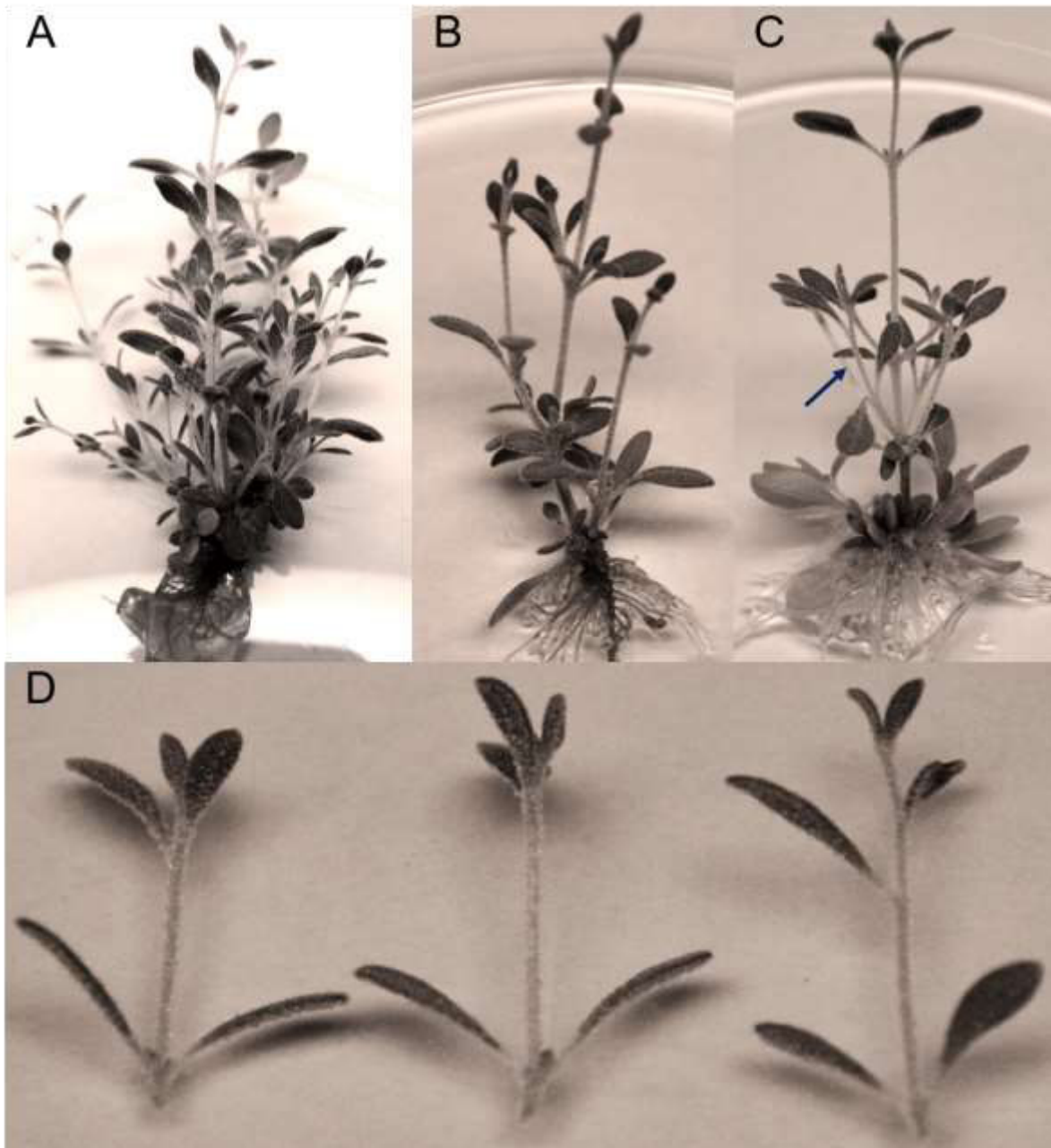


Figura 2. Brotes axilares y plantas completas de *A. taltalensis* obtenidas *in vitro* a partir del cultivo de explantes iniciales en medios de multiplicación suplementados sólo con IBA, BAP e IBA y sin fitoreguladores. Planta con formación de brotes axilares y formación de raíz en AEm5 (A), AEmc (B) y AEm1 (C; flecha azul). Aspecto morfológico de los brotes axilares desarrollados (D).

Sub-cultivo 1

La respuesta de formación de brotes al término del sub-cultivo 1 (30 días) en los diferentes medios de multiplicación fue entre un 60-78%, siendo el medio AEm5 el que presentó la mayor formación de brotes axilares. Tras evaluar estadísticamente el comportamiento observado de los explantes del sub-cultivo 1 mediante la prueba de Kruskal-Wallis, se observó un efecto tratamiento en el número de brotes (n) y en



la altura de los brotes formados (cm) producto de los distintos medios de multiplicación aplicados. El mejor rendimiento observado para ambas variables fue en el medio de multiplicación AEm5 (Cuadro 6; Figura 7; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En tanto, el comportamiento de las réplicas fue homogéneo, sin determinar los resultados evaluados.

Cuadro 5. Respuesta de formación de brotes, número de brotes por explante, número de brotes totales y respuesta de formación de raíz, obtenida tras el cultivo de explantes iniciales en medios de multiplicación y control.

Medio de cultivo	Respuesta formación de brotes (%)		N° promedio de brotes/explante		N° total de brotes		Respuesta formación de raíz (%)
	Basales	Axilares	Basales	Axilares	Basales	Axilares	
AEmc	-	61	-	4	-	154	73
AEm1	75	30	2	7	76	111	47
AEm2	38	-	7	-	150	-	-
AEm3	42	-	12	-	290	-	-
AEm4	37	-	15	-	320	-	-
AEm5	-	65	-	7	-	271	90

Cuadro 6. Efecto de diferentes medios de multiplicación sobre el número de brotes (n) y su altura (cm) en explantes de *A. taltalensis* en sub-cultivo 1.

Medio de multiplicación	N	N° brotes			Altura brotes		
		Mediana	Ave-Rank	Z	Mediana	Ave-Rank	Z
AEmc (control)	120	3.00	260.90	-5.75	1.20	432.80	4.17
AEm1	120	3.00	311.80	-2.81	1.00	259.80	-5.81
AEm2	120	2.00	257.90	-5.92	0.90	212.50	-8.54
AEm3	120	5.00	377.00	0.95	1.00	417.70	3.30
AEm4	120	6.00	516.90	4.51	1.00	464.90	0.86
AEm5	120	8.00	29.30	9.02	1.20	29.30	6.03
Total		H=148.82	DF=5	P=0.000*	H=143.38	DF=5	P=0.000*
Adjusted for ties		H=154.46	DF=5	P=0.000*	H=150.89	DF=5	P=0.000*

* : Presenta significancia estadística con $\alpha = 0.05$.

Tanto para el número de brotes (n) y longitud de brotes (cm), la prueba U de Mann-Whitney, indicó que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los diferentes medios de multiplicación. Para ambos parámetros, el medio AEm5 fue el que presentó las principales diferencias estadísticamente significativas respecto al resto de los medios de multiplicación y control ($p < 0.05$; Cuadro 7; Figura 7).

En tanto, al evaluar estadísticamente la generación de raíces y la presencia de hiperhidricidad en los explantes del sub-cultivo 1, se observó que los medios de multiplicación fueron determinantes en la respuesta de ambas variables. Además, el medio AEm5 generó en mayor proporción raíces en los explantes. Mientras, la menor hiperhidricidad se presentó tanto en el medio control, como en el medio AEm5 (Cuadro 8; Cuadro 9; Figura 7).

Al realizar un análisis integrado, se pudo apreciar que el sub-cultivo 1 presentó un rendimiento creciente tanto en el número de brotes, como en su longitud, en la medida que el medio de cultivo incrementaba la concentración de BAP, excepuando el medio AEm5. En particular, en el caso del número de brotes, se observó diferencias estadísticamente significativas con el control, y aquellos medios de multiplicación que incrementaron la dosificación de BAP (Cuadro 1; Cuadro 6; Cuadro 8; Figura 7). Caso contrario es lo observado con el medio AEm5, que se diferenció del control y otros medios de multiplicación con aplicación de BAP, solo por aplicar el fitorregulador IBA (Cuadro 7; Figura 7).

Así mismo, el medio AEm5, presentó el mayor grado de explantes con raíces, frente a otros medios de multiplicación, contando además con una baja variabilidad, en comparación al control (AEmc). Otros tratamientos, como AEm4 que consideró la máxima aplicación del fitorregulador BAP, por el contrario,



obtuvo el más bajo rendimiento en la generación de raíces en los explantes (Cuadro 1; Cuadro 8; Cuadro 9; Figura 7).

Cuadro 7. Diferencias estadísticamente significativas en el número de brotes (n) y su altura (cm) en función de diferentes medios de multiplicación aplicados a explantes de *A. taltalensis* en sub-cultivo 1.

Comparación	N° de brotes					
	AEmc	AEm1	AEm2	AEm3	AEm4	AEm5
AEmc	-	0.0230	0.4576	0.0000*	0.0000*	0.0000*
AEm1		-	0.0229	0.0043*	0.0000*	0.0000*
AEm2			-	0.0000*	0.0000*	0.0000*
AEm3				-	0.0000*	0.0000*
AEm4					-	0.0003*
AEm5						-

Comparación	Altura brotes					
	AEmc	AEm1	AEm2	AEm3	AEm4	AEm5
AEmc	-	0.0000*	0.0000*	0.4101	0.0131*	0.1296
AEm1		-	0.0399*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
AEm2			-	0.0000*	0.0000*	0.0000*
AEm3				-	0.0635	0.0174*
AEm4					-	0.0001*
AEm5						-

* : Presenta significancia estadística con $\alpha = 0.05$.

Cuadro 8. Efecto de diferentes medios de multiplicación sobre la generación de raíces (%) y la presencia de Hiperhidricidad (%) en explantes de *A. taltalensis* en sub-cultivo 1.

Medio de multiplicación	N	Generación de raíces			Presencia de Hiperhidricidad		
		Mediana	Ave-Rank	Z	Mediana	Ave-Rank	Z
AEmc (control)	120	1.00	360.50	7.56	0.00	311.50	-2.83
AEm1	120	0.00	350.50	-0.58	0.00	311.50	-2.83
AEm2	120	0.00	281.50	-4.56	0.00	422.50	3.58
AEm3	120	0.00	248.50	-6.46	0.00	407.50	2.71
AEm4	120	0.00	242.50	-6.81	0.00	398.50	2.19
AEm5	120	1.00	548.50	10.85	0.00	311.50	-2.83
Total		H=236.65	DF=5	P=0.000*	H= 40.78	DF=5	P=0.000*
Adjusted for ties		H=338.63	DF=5	P=0.000*	H=115.59	DF=5	P=0.000*

* : Presenta significancia estadística con $\alpha = 0.05$.

En tanto, la hiperhidricidad fue mayor en aquellos medios de multiplicación que aplicaron concentraciones mayores a 0.05 mg L^{-1} BAP; y no se observó en aquellos tratamientos que no aplicaron dicho fitorregulador (Cuadro 1; Cuadro 8; Cuadro 9; Figura 7).

Los medios de multiplicación AEm5, AEm1 y control, promovieron el alargamiento de los explantes iniciales de brotes de *A. taltalensis* cultivados *in vitro*, estimulando el crecimiento de yemas a brotes axilares, obteniendo plantas completas y enraizadas. Estos efectos observados estarían dados por el rol que cumplen los fitorreguladores como las auxinas, sobre las respuestas fisiológicas del crecimiento de explantes cultivados *in vitro*, específicamente sobre la elongación y el enraizamiento de las plantas (George *et al.*, 2008).

Las auxinas son producidas en las partes de las plantas en fase de crecimiento activo, afectando el crecimiento del tallo, hojas y raíces, estimulando la elongación o alargamiento de ciertas células e inhibiendo el crecimiento de otras, según la cantidad de auxina en el tejido vegetal y su distribución (Hoyos *et al.*, 2008). Esto se relaciona a los resultados observados en el presente estudio, en donde el mejor rendimiento de los parámetros evaluados se observó en el tratamiento AEm5 empleando sólo IBA ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$), tanto en el cultivo inicial, como en el sub-cultivo 1 (Cuadro 5; Cuadro 6; Cuadro 8), y son similares a los obtenidos por Terrán *et al.*, (1998), quienes evaluaron la multiplicación *in vitro* de *Atriplex*



semibaccata y *Atriplex halimus* a partir del cultivo de segmentos nodales en medios con auxinas (IBA y/o ácido indolacético AIA), obteniendo como resultado la formación de yemas axilares, las que experimentaron una respuesta de elongación hasta formar plantas de gran longitud (4.9-5.1 cm) y un alto número de nudos (12-13) por explante cultivado, estableciendo además, que la mejor auxina para inducir rizogénesis en los explantes es el IBA.

En el medio control se promueve el mismo efecto observado en el medio de multiplicación AEm5, pero con un bajo rendimiento (Cuadro 5; Cuadro 6; Cuadro 8). Esto puede deberse al balance de auxinas y citocininas determinado por la concentración endógena de los explantes iniciales de brotes utilizados, los que podrían contener una mayor concentración de auxina, favoreciendo el alargamiento de los brotes hasta el estado de planta y la formación de raíces. El balance de auxinas y citocininas que se encuentran en los explantes cultivados *in vitro*, influyen en el desarrollo fisiológico de los vegetales, y dependen de la especie y tipo de explante (Martínez y Pacheco, 2006; Pedroza y Micán, 2006).

Pedroza y Bejarano (2008) indicaron que, a medida que se aumenta la concentración de BAP en varias especies cultivados *in vitro*, se percibe una disminución de la longitud de los brotes y el incremento en su proliferación, por las altas concentraciones endógenas de este fitorregulador alcanzadas por los brotes, efecto que fue observado en los medios de multiplicación empleados, que incluían BAP a una concentración por sobre los 0,05 mg L⁻¹, los que promovieron un alto número de brotes basales (Cuadro 3), los que no experimentaron una respuesta de elongación hasta el estado de planta.

Cuadro 9. Diferencias estadísticamente significativas en la generación de raíces (%) y presencia de Hiperhidricidad (%) en función de diferentes tratamientos aplicados a explantes de *A. taltalensis* en sub-cultivo 1.

Comparación	Generación de raíces					
	AEmc	AEm1	AEm2	AEm3	AEm4	AEm5
AEmc	-	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0000*	0.0017*
AEm1		-	0.0006*	0.0000*	0.0000*	0.0000*
AEm2			-	0.0205*	0.0045*	0.0000*
AEm3				-	0.5561	0.0000*
AEm4					-	0.0000*
AEm5						-
Comparación	Altura brotes					
	AEmc	AEm1	AEm2	AEm3	AEm4	AEm5
AEmc	-	-	-	-	-	-
AEm1		-	-	-	-	-
AEm2			-	0.4774	0.2490	-
AEm3				-	0.6580	-
AEm4					-	-
AEm5						-

* : Presenta significancia estadística con $\alpha = 0.05$.

CONCLUSIONES

A partir del cultivo *in vitro* de explantes de *A. taltalensis* y de los análisis realizados, tanto del cultivo inicial, como del sub-cultivo 1, se puede evidenciar que el medio de multiplicación suplementado sólo con IBA (0,5 mg L⁻¹) ha mostrado el mejor rendimiento en los parámetros evaluados como, número de brotes (n), la longitud de estos (cm), el enraizamiento de explantes (%) y el menor grado de hiperhidricidad (%), siendo el más adecuado para favorecer la multiplicación de esta especie, debido a que promueve el desarrollo de brotes axilares, los que experimentan alargamiento del tallo hasta formar plantas completas y enraizadas. Esto favorece la obtención de un gran número de plantas, viables, con un crecimiento apropiado para el proceso de aclimatación de individuos.

Los resultados presentados de este estudio, correspondientes a la etapa de multiplicación, han demostrado que es posible emplear técnicas de cultivo *in vitro* mediante organogénesis directa, para la obtención masiva de nuevos individuos de *A. taltalensis*, permitiendo su conservación.

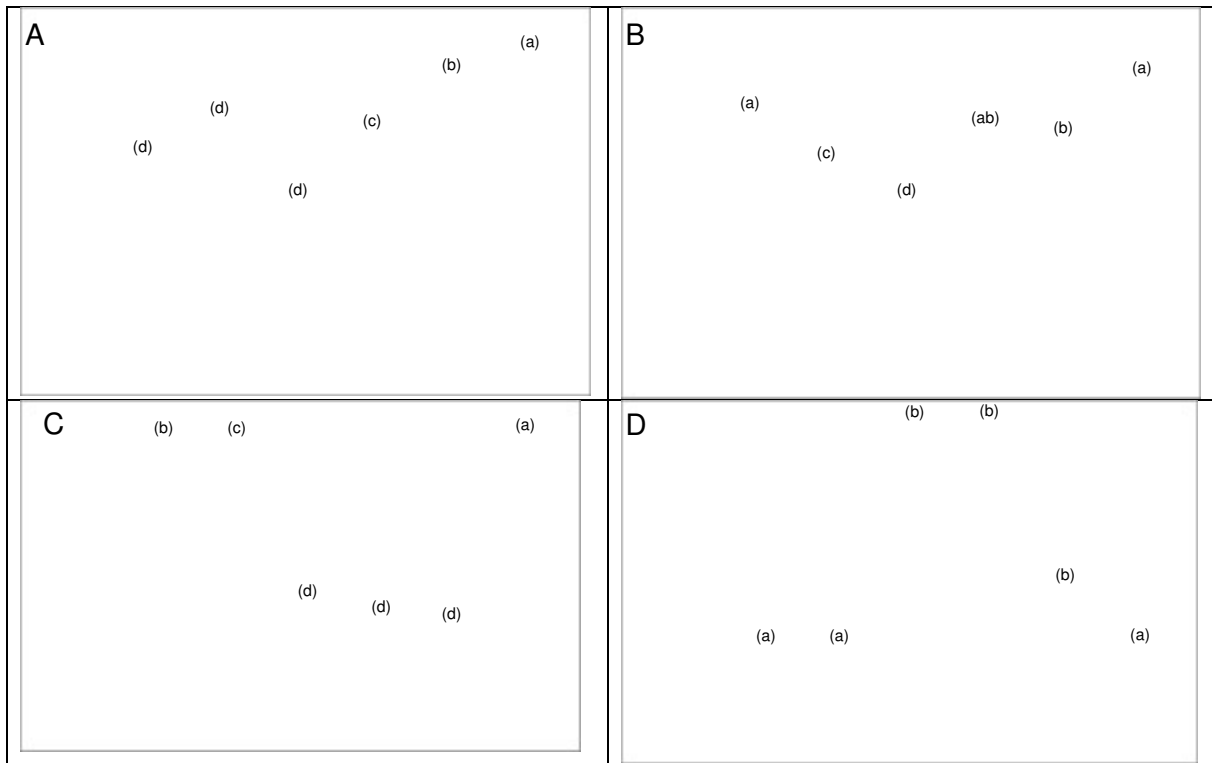


Figura 7. Boxplot de parámetros medidos en explantes de *A. taltalensis* en función de diferentes medios de multiplicación. Número de brotes (A). Altura de brotes (B). Generación de raíces (C). Presencia de Hiperhidricidad (D).

(a-d) : Presenta significancia estadística con $\alpha = 0.05$, siendo (a) el mejor rendimiento.

LITERATURA CITADA

- Aldahhak, O., Zaid, S., da Silva, J.A.T. and Abdul-Kader, A.M. 2010. *In vitro* approach to the multiplication of a halophyte species forage shrub *Atriplex halimus* L. and *in vitro* selection for salt tolerance. *International Journal of Plant Developmental Biology* 4: 8-14.
- Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, JM. and Paneque, M. 2020. Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*. 54, 4309–4330.
- Biota Gestión y Consultorías Ambientales. 2019. Proyecto suministro eléctrico complejo astronómico Paranal-Armazones: replante de ejemplares de flora producidos a través de germoplasma local, Chile. 28 p.
- Brigone, N.F., Denham, s.s. and Pozner, R. 2016. Synopsis of the genus *Atriplex* (Amaranthaceae, Chenopodioideae) for South America. *Australian Systematic Botany* 29, 324-357.
- Chamorro, A.H., Martínez, S., Fernández, J. and Mosquera, T. 2007. Evaluation of different concentrations of some plant growth regulators on *in vitro* multiplication and rooting of *Limonium* var. Misty blue. *Agronomía Colombiana* 25(1), 47-53.
- Cob, J., Sabjab, A. M., Ríos, D., Lara, A., Donoso, P. J., Arias, L. and Escobar, B. 2010. Potential of organogenesis as a strategy to the *in vitro* propagation of *Persea lingue* in the south-central region of Chile. *Bosque* 31(3), 202-208.
- Colomer, J. and Passera, C. 1990. The nutritional value of *Atriplex* spp. as fodder for arid regions. *Journal of Arid Environments* 19: 289–295.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Gonzalez, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C. & Balzarini, M. 2005. *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina. 329 p.
- Fong, Y. & Huang, Y. 2019. Modified Wilcoxon–Mann–Whitney Test and Power Against Strong Null. *The American Statistician*. 73 (1): 43-49.



- García, Á. L., Álvarez, J.M., Alvarado, C.Y., Gonzales, M., La, M.O, Mirabal, D., and Romero. C. 2012. In vitro establishment of nodal segments of *Annona muricata* L. young plants. *Biotechnología Vegetal* 12(4), 229-234.
- George, E.F and G.J. de Klerk. 2008. The Components of plant tissue culture media I: macro- and micro-nutrients. Pp. 65-113. In: E.F. George, M.A. Hall and G.J. de Klerk (eds.). *Plant Propagation by Tissue Culture 3rd Edition - Volume 1. The Background*. Springer, The Netherlands.
- Gutiérrez, G. y Lazo, L. 1996. Plantas medicinales de la zona de Paposó. Santiago. 103 pp.
- Indacochea, B., Parrales, J., Hernández, A., Castro, C., Vera, M. Zhindón, A. y Gabriel, J. 2018. Evaluación de medios de cultivo in vitro para especies forestales nativas en peligro de extinción en Ecuador. *Agronomía Costarricense* 42(1), 63-89.
- Martínez, M.A. y Pacheco, J.C. 2006. Protocolo para la micropropagación de *Furcraea macrophylla* Baker *Agronomía Colombiana* 24 (2): 207-213
- Ministerio del Medio Ambiente. Ficha de antecedentes de la especie *Atriplex taltalensis*. Chile. https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/Atriplex_taltalensis_P07.pdf (Consultado 13 de noviembre de 2019).
- Moola, A.K., Kumari, B.D.R.2020. Rapid propagation of *Celastrus paniculatus* Willd.: an endangered medicinal plant through indirect organogenesis. *Vegetos* 33, 277-285.
- Paneque, M. 2018. Saltbush biomass for energy. *Agri Res &Tech: Open Access*, 15 (2).
- Papafotiou, M., Majumder, D.A.N., Martini, A.N. and Bertsoyklis, K.F. 2016. Micropropagation of *Atriplex halimus* L., XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014), International Symposium on Micropropagation and In Vitro Techniques.
- Pedroza, J.A. y Micán, Y. 2006. Asymbiotic germination of *Odontoglossum gloriosum* (Orchidaceae) under in vitro conditions. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 42 (6), 543-547.
- Pedroza-Manrique, J. y Bejarano, T. 2008. Propagación vegetativa in vitro de *Puya santossi*. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 1, 36-48.
- Reyes, V.I., Potenza, C. and Barrow, J. 2008. Hyperhydricity reversal and clonal propagation of four wing saltbush (*Atriplex canescens*, Chenopodiaceae) cultivated in vitro. *Australian Journal of Botany*. 56, 358-362.
- Rosas, M. 1989. El género *Atriplex* (Chenopodiaceae) en Chile. *Gayana. Bot.* 46(1-2), 3-82.
- Rustom, A. 2012. Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia. Una visión conceptual y aplicada. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 196 p.
- Sen, D. and Rajput, P. 1995. Ecophysiological aspects of the vegetative propagation of saltbush (*Atriplex* spp.) and mulberry (*Morus* spp.). In: *Handbook of Plant and Crop Physiology*. Mohammad Pessarakli. New York. pp: 177-193.
- Serra, M.T., 1997. Chile: *Atriplex nummularia* y *Atriplex repanda* En: *Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina*. FAO, Serie: Zonas áridas y semiáridas N°12.
- Terrán, A. F., Ascarrunz, M. E., Tejada, E. and Zapata, A.1998. Propagation of three species of *Atriplex* by means of cultivation of you woven in vitro organogénesis. *BIOFARBO*. 6(6), 3-9.
- Uribe, M.M., Cifuentes, G.L. 2004. Aplicación de técnicas de cultivo in vitro en la propagación de *Legrandia concinna*. *Bosque*. 25(1), 129-135.



Sección E: Ganadería



EFICIENCIA ALIMENTICIA Y FERTILIDA DE VACAS PROUCTORAS DE LECHE EN EL TRÓPICO

FEED AND FERTILIDE EFFICIENCY OF MILK-PRODUCING COWS IN THE TROPIC

Zárate Martínez JP^{1*}, Ríos Utrera A¹, Montero Lagunes M¹, Fragoso Islas A², Juárez Lagunes FI³ y Rangel Quintos J¹

¹C.E. La Posta-CIRGOC-INIFAP; ²S. E. Las Margaritas CIRGOC-INIFAP; ³FMVZ, UV

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la producción de vacas de doble propósito, alimentadas con dos niveles de fibra detergente neutro (FDN) y su efecto sobre la eficiencia reproductiva, induciéndolas a ovular. El estudio se realizó de agosto de 2017 a diciembre de 2019 en el Campo Experimental La Posta (CIRGOC-INIFAP), en Paso del Toro, Veracruz, México. Se utilizaron 27 vacas multíparas. Veintiún días antes del parto, las vacas se asignaron a dos tratamientos: T1=4.5 kg y T2=3.0 kg de concentrado/vaca/d, y forraje *ad libitum*. Las comparaciones entre T1 y T2 se realizaron con la prueba *t* de student. A las vacas de ambos tratamientos, a partir del día 70 posparto, se les indujo la ovulación con un protocolo hormonal y se inseminaron a tiempo fijo (IATF). Para las variables reproductivas se aplicó un diseño completamente al azar con el procedimiento PROC GENMOD del programa SAS. Días abiertos e intervalo entre partos se analizaron con GLM de SAS. Las vacas del T2 consumieron más FDN ($p < 0.05$) que las vacas del T1 (38 vs 44% de la dieta). El incremento en el consumo de forraje, hasta donde la FDN permitió, logró compensar el aporte de EM y PM, siendo similares para ambos tratamientos durante los primeros 15 días antes del parto. Las vacas del T2 intentaron compensar el déficit de nutrientes consumiendo más forraje (6.25 vs 7.37 kg de MS/d). La PM siempre fue deficiente durante la lactación para ambos tratamientos. Las vacas del T1 perdieron menos condición corporal; esto se reflejó en una mayor ($p < 0.05$) tasa de gestación (75.2 vs 42.8%). Para producir 14 kg de leche/d, se requieren 30 Mcal de EM y 1,350 g de PM. Aplicar un protocolo hormonal con IATF a los 70 días posparto, resultó en un período abierto de 105 d en las vacas del T1.

Palabras clave: *Consumo voluntario, transición, protocolo hormonal.*

INTRODUCCIÓN

En los sistemas con manejo doble propósito la etapa de transición es totalmente ignorada. Este periodo se caracteriza por una disminución del consumo de alimento, cuya recuperación se produce en una a dos semanas después del parto. Para disminuir los factores de riesgo del período de transición es importante lograr una progresiva adaptación del rumen, en especial en aquellas dietas donde existen desafíos de cantidad y calidad de alimento, implementar estrategias de suplementación vitamínico-mineral o los nutrientes antioxidantes que mitiguen el estado de inmunosupresión, estrés metabólico y oxidativo en la gestación, lactación y de esta manera prevenir, en vez de luchar con estos problemas y así lograr un impacto sobre el comportamiento productivo y reproductivo (Hans, 2008; Zárate *et al.*, 2010). Descuidar estos aspectos ocasiona que la vaca tarde más tiempo en quedar preñada nuevamente y a que se requiera mayor número de servicios para preñarla, lo cual va en contra de la eficiencia del hato. El mejoramiento de los esquemas de manejo, con una alimentación funcional, amamantamiento restringido, destete temporal para reiniciar la actividad ovárica, inducción y sincronización de la ovulación temprana con protocolos hormonales, deben contribuir a mejorar el comportamiento reproductivo del ganado bovino cruzado en el trópico de México (Zárate *et al.*, 2010). El objetivo del trabajo, fue evaluar la producción de vacas del trópico de México alimentadas con dos niveles de fibra detergente neutro (FDN) y su efecto sobre la eficiencia reproductiva, induciéndolas a ovular con un protocolo hormonal e Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF).

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó de agosto de 2017 a diciembre de 2019 en el Campo Experimental La Posta del INIFAP, ubicado en Paso del Toro, Veracruz, México, en el kilómetro 22.5 de la carretera federal



Veracruz-Córdoba. La posición geoespacial comprende los paralelos 19°02' de Latitud Norte y 96°08' de Longitud Oeste. La altura sobre el nivel del mar es de 16 m. El clima de la región es Aw caliente-subhúmedo con temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa promedio anual de 25°C, 1,461 mm y 75%, respectivamente (García, 2004). Se utilizaron 27 vacas multíparas Holstein x Cebú, las cuales ingresaron al experimento 30 días antes del parto y se alojaron en corrales individuales hasta los 70 días posparto. Del día 30 al día 15 del período preparto, a todos los animales se les ofreció una cantidad fija de concentrado (2 kg) con 16% de PC y 70% de TND y heno de pasto Pangola (*Digitaria decumbens*) a libertad. Quince días antes de la fecha probable de parto, las vacas se asignaron aleatoriamente a dos tratamientos: T1= 4.5 kg de concentrado/vaca/d y T2= 3.0 kg de concentrado/vaca/d, en forma alternada, hasta completar 14 y 13 repeticiones en T1 y T2, respectivamente. El forraje se ofreció a libertad; se pesó lo ofrecido y al día siguiente el sobrante. Por diferencia entre lo ofrecido y el sobrante, se estimó el CV de forraje por día, de acuerdo con el requerimiento nutricional de las vacas, estimado con el Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS), con base en la producción de leche. Al parir, las vacas se ordeñaron una vez al día, en la mañana, con el apoyo del becerro. Ocho horas después del ordeño, se permitió que los becerros mamaran a libertad durante una hora. El peso corporal (PC) de las vacas y sus becerros, así como la condición corporal (CC; escala 1 a 9) de las vacas, se midió cada 14 días. La producción de leche se calculó diariamente, mientras que la composición de la leche (grasa, proteína y lactosa) se estimó cada 28 días con un equipo MilkScanner. El contenido de nutrientes en la dieta se determinó tomando cada 3 meses muestras de forraje y concentrado ofrecidos durante el período experimental, para realizar análisis de composición química. Para concentrado y forraje, se tomaron dos muestras de 500 g c/u, una muestra se secó a 100°C durante 24 h para determinar contenido de MS; la otra se secó a 55°C hasta obtener peso constante. Se determinó MS, cenizas, grasa, proteína cruda y las fracciones de FDN, FDA y lignina, así como las fracciones de nitrógeno mediante el método estandarizado, de acuerdo con la estructura del CNCPS (Licitra *et al.*, 1996; Lean *et al.*, 2013). Para estimar el aporte de nutrientes y los requerimientos nutricionales de las vacas en los dos tratamientos, se usó el programa CNCPS V 6.5.5.1. Para el seguimiento diario del comportamiento nutricional de las vacas por tratamiento, se consideraron variables ambientales (temperatura ambiental y humedad relativa), de manejo (estabulación en corrales individuales), de raza (cruzadas Holstein x Cebú), fisiológicas (peso y condición corporal, edad al parto, número de partos, producción y composición de leche), del alimento (consumo de concentrado y forraje, y composición química nutricional del concentrado y forraje). La información se agrupó en periodos de 15 días: 15 días antes del parto hasta 45 a 60 días posparto. Las comparaciones entre T1 y T2 en cada período se realizaron con la prueba *t* de student. Las implicaciones nutricionales en estos períodos impactarán el inicio de la actividad ovárica posparto y el comportamiento reproductivo subsecuente en las vacas de cada uno de los tratamientos. A las vacas del T1, a partir de la aparición de un folículo de ≥ 10 mm, o a más tardar a partir del día 70 posparto, el cual se consideró como el día 0, se les indujo el estro y la ovulación con un protocolo que constó de un dispositivo intravaginal (DI) con 1.9 g de progesterona + 2 mg de benzoato de estradiol. El DI se retiró a los ocho días y se aplicó una inyección IM con 25 mg de PGF_{2α}, 0.5 mg de cipionato de estradiol y 400 UI de eCG. Los becerros se destetaron por 72 h (destete temporal), comenzado en el momento de remoción del DI (día 8) hasta el día de la IATF (día 10). El manejo reproductivo de las vacas del T2 fue similar al de las vacas del T1. Para las variables reproductivas se aplicó un diseño completamente al azar por medio de PROC GENMOD del programa SAS. Días abiertos e intervalo entre partos se analizaron con el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan las condiciones nutricionales 15 días antes del parto. La similitud en las condiciones fisiológicas permitió observar consumos de MS muy similares entre tratamientos, a excepción del consumo de concentrado que estuvo experimentalmente controlado, ya que a las vacas del T1 se les ofreció más que a las vacas del T2 (4.46 vs 3.12 kg/vaca/d). La repercusión en menor consumo de concentrado de las vacas del T2 se debió a que intentaron compensar el déficit de nutrientes consumiendo más forraje (6.25 vs 7.37 kg MS/d). Estadísticamente no se manifestó esta tendencia ($p=0.27$), debido a que el consumo de FDN impone un freno por la limitada capacidad ruminal que la gestación condiciona. Aun así, las vacas del T2 consumieron más FDN (38 vs 44% de la dieta; $p<0.05$) que las vacas del T1. El incremento en el consumo de forraje hasta donde la FDN permitió,



logró compensar el aporte de EM y PM, siendo similares para ambos tratamientos, aunque en el balance de nitrógeno se muestra un déficit de NH_3 en el rumen en los dos tratamientos, siendo más acentuado en el T2 (89 vs 86% del requerido; $p=0.02$).

Cuadro 1. Respuesta de vacas secas 15 días antes del parto a dos niveles de suplementación con concentrado.

Variable	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Valor p
	Media	DS	EEM	Media	DS	EEM	
Estado fisiológico							
Edad, meses	113	40	23	90	48.9	28	0.18
Lactancia, número	5	1.7	1	3.3	2.3	1.3	0.15
Peso cría, kg	34.4	3.61	2.1	36.1	11	6.4	0.43
Peso corporal, kg	489	46.1	27	506	19.3	11	0.24
Condición corporal	4.5	1.26	0.73	4.0	1.63	0.94	0.32
Consumo de materia seca (MS)							
Consumo MS observado, kg	10.7	2.27	1.3	10.5	2.51	1.4	0.45
Consumo concentrado, kg	4.46	0.02	0.01	3.12	0.02	0.01	0.00
Consumo de forraje, kg	6.25	2.25	1.3	7.37	2.53	1.5	0.27
Costo, \$/d	51	10.3	5.9	50	11.1	6.4	0.44
Consumo de fibra efectiva (eFDN)							
Consumo de FDNe, kg	1.63	0.95	0.55	2.27	1.05	0.61	0.19
Consumo de FDNe, % dieta	38	5.8	3.3	44	5.6	3.2	0.05
FDN, % peso corporal	0.81	0.26	0.15	0.93	0.34	0.20	0.27
Requerimientos de energía metabolizable (EM)							
EM disponible, Mcal/d	24.4	4.53	2.6	24.5	4.69	2.7	0.52
EM mantenimiento, Mcal/d	13.6	1.16	0.67	14.2	0.42	0.24	0.22
EM gestación, Mcal/d	7.2	1.6	0.93	8.13	3.74	2.20	0.38
EM reserva, Mcal/d	3.7	4.11	2.4	2.2	3.81	2.2	0.36
Ganancia de peso, kg/d	0.27	0.25	0.15	0.15	0.25	0.15	0.32
Requerimientos de proteína metabolizable (PM)							
PM disponible, g	862	110	64	794	129	75	0.39
PM mantenimiento, g	466	95.3	55	491	109	63	0.38
PM gestación, g	246	58.3	34	283	137	79	0.37
PM reserva, g	128	146	84	129	196	113	0.50
PM balance, g	22	120	69	-48	193	112	0.26
PM requerida, %	106	17.2	9.9	100	22.7	13	0.26
Balance de nitrógeno							
NH_3 , % requerido	89	12.1	7.0	86	11.2	6.4	0.02
Urea, costo Mcal/d	0.17	0.07	0.04	0.09	0.08	0.05	0.21

Tratamiento 1= consumo de 4.5 kg de concentrado/d; Tratamiento 2= consumo de 3.0 kg de concentrado/d; PC= Peso corporal; DE= desviación estándar; EEM= error estándar de la media.

La primera variable fisiológica que se modifica al inicio de la lactación fue la CC. Las vacas del T2 presentaron menor CC que las vacas del T1, consecuencia de mayor utilización de recursos energéticos corporales para soportar la lactación, debido, en parte, a un limitado consumo de MS de las vacas del T2 con respecto al de las vacas del T1 (Cuadro 2). Aun cuando hubo un intento por compensar consumiendo más forraje ($p=0.08$), éste no fue suficiente, perjudicando la relación leche/alimento al producir solo 0.56 kg de leche por kg de alimento consumido, encareciendo el producto (3.34 vs 4.89 \$/kg de leche; $p=0.03$).



Cuadro 2. Respuesta de vacas lactando los primeros 15 días después del parto a dos niveles de suplementación con concentrado.

Variable	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Valor p
	Media	DS	EEM	Media	DS	EEM	
Estado fisiológico							
Peso corporal, kg	477	46.9	27.1	500	25.4	14.6	0.29
Condición corporal (1 a 9)	5.4	0.81	0.47	4.5	0.46	0.26	0.05
Consumo de materia seca (MS)							
Consumo MS observado, kg	13.1	2.32	1.34	12.34	2.82	1.63	0.05
Consumo concentrado, kg	4.5	0.04	0.02	3.1	0.01	0.01	0.00
Consumo de forraje, kg	8.6	2.35	1.36	9.24	2.83	1.64	0.08
Costo, \$/d	62.3	10.7	6.2	55.8	17.5	10.1	0.13
Relación leche/alimento	1.01	0.35	0.20	0.56	0.41	0.24	0.00
Costo, \$/kg de leche	3.34	1.62	0.93	4.89	2.09	1.21	0.03
Consumo de fibra efectiva (eFDN)							
Consumo de FDNe, kg	2.5	1.06	0.61	3.2	0.85	0.49	0.01
Consumo de FDNe, % dieta	41.7	5.17	2.98	48.6	1.1	0.63	0.05
FDN, % peso corporal	1.17	0.44	0.25	1.21	0.27	0.16	0.37
Requerimientos de energía metabolizable (EM)							
EM para leche, kg	15.7	2.06	1.19	11.8	2.07	1.20	0.03
EM disponible, Mcal/d	33.1	2.45	1.41	28.2	2.83	1.64	0.03
EM mantenimiento, Mcal/d	13.2	0.85	0.49	14.0	0.63	0.37	0.17
EM lactación, Mcal/d	18.9	2.44	1.41	11.4	1.98	1.14	0.01
EM de reserva, Mcal/d	1.0	1.73	1.00	2.77	3.72	2.15	0.14
Requerimientos de proteína metabolizable (PM)							
PM para leche, kg	12.8	2.44	1.41	6.1	3.23	1.86	0.00
PM disponible, g	1140	43.4	25.1	958	78.3	45.2	0.01
PM para mantenimiento, g	580	92.7	53.5	590	115.9	66.9	0.28
PM para lactación, g	655	86.4	49.9	538	94.1	54.3	0.05
PM de reserva, g	127	109.8	63.4	260	103.8	59.9	0.00
PM balance, g	-120	121	70	-260	104	60	0.00
PM requerida, %	91	9.24	5.33	79	5.86	3.38	0.01
Balance de nitrógeno							
N-ureico en leche, mg/dL	0.93	1.55	0.90	-0.90	1.06	0.61	0.17
NH ₃ balance ruminal, g	-21	20.7	11.9	-31	5.6	3.2	0.21
NH ₃ ruminal, % requerido	89	11.14	6.43	82	1.53	0.88	0.21
Impacto ambiental potencial							
CH ₄ , g/kg de leche	22.1	2.90	1.68	27.6	8.5	4.91	0.13
CO ₂ , g/kg de leche	581	80	46	761	223	129	0.09
NH ₃ potencial, g	27.3	15.53	8.97	9.0	10.58	6.11	0.17

Tratamiento 1= consumo de 4.5 kg de concentrado/d; Tratamiento 2= consumo de 3.0 kg de concentrado/d; DE= desviación estándar; EEM= error estándar de la media.

Con casi 50% de FDN en la dieta, las vacas del T2 no tuvieron la capacidad de consumir más allá de 3.2 kg de FDN. El impacto esperado fue no solo menor consumo de energía (33.1 vs 28.2 Mcal; p=0.03), sino en la distribución de la misma ya que, aunque ambos tratamientos tuvieron los mismos



requerimientos de EM de mantenimiento, las vacas del T2 dispusieron de menor EM para lactación y tendieron a prevenir una caída más drástica de la CC al destinar casi el triple de energía para reserva (Mcal/d) con relación al T1 (1.0 vs 2.77; $p=0.14$). La consecuencia fue de 4 kg de leche/d menos en las vacas del T2 (15.7 vs 11.8; $p=0.03$) durante este período. Ambos tratamientos tuvieron deficiencia de amonio ruminal para los niveles de materia orgánica consumida. Después de los 30 días postparto (Cuadro 3) hubo recuperación de la CC en las vacas del T2, acompañada de pérdida de PC, a diferencia de las vacas del T1, que mantuvieron el PC, pero con pérdida de CC.

Cuadro 3. Respuesta de vacas lactando de 30 a 45 días después del parto a dos niveles de suplementación con concentrado.

Variable	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Valor p
	Media	DS	EEM	Media	DS	EEM	
Estado fisiológico							
Peso corporal, kg	479	42.3	24.4	491	41.4	23.9	0.39
Condición corporal (1 a 9)	4.74	1.96	1.13	4.85	2.07	1.2	0.42
Consumo de materia seca (MS)							
Consumo MS observado, kg	15.2	2.4	1.38	12.2	1.31	0.76	0.12
Consumo concentrado, kg	4.5	0.11	0.06	3.2	0.08	0.04	0.01
Consumo de forraje, kg	10.7	2.48	1.43	9.0	1.38	0.80	0.23
Costo, \$/d	74.87	15.85	9.15	66.99	14.58	8.42	0.03
Relación leche/alimento	0.61	0.29	0.17	0.70	0.47	0.27	0.38
Costo, \$/kg de leche	5.41	1.32	0.76	4.6	1.18	0.68	0.01
Consumo de fibra efectiva (eFDN)							
Consumo de FDNe, kg	3.5	1.15	0.67	3.0	1.08	0.62	0.29
Consumo de FDNe, % dieta	45.8	5.11	2.95	46.9	6.01	3.47	0.37
NDF, % peso corporal	1.46	0.255	0.147	1.21	0.416	0.24	0.25
Requerimientos de energía metabolizable (EM)							
EM para leche, kg	14.0	2.84	1.64	14.7	2.02	1.17	0.15
EM disponible, Mcal/d	33.2	4.43	2.56	28.15	2.04	1.18	0.03
EM mantenimiento, Mcal/d	13.5	1.24	0.72	13.8	0.26	0.15	0.38
EM lactación, Mcal/d	16.9	3.43	1.98	14.2	1.97	1.13	0.04
EM de reserva, Mcal/d	2.83	1.58	0.91	0.17	0.21	0.12	0.04
Requerimientos de proteína metabolizable (PM)							
PM para leche, kg	9.3	3.69	2.13	8.1	4.95	2.86	0.29
PM disponible, g	1140	167.9	96.9	951	125	72.2	0.01
PM para mantenimiento, g	687	124.6	71.9	580	106.2	61.3	0.19
PM para lactación, g	585	118.	68.5	669	91.5	52.8	0.02
PM de reserva, g	219	150	87	300	179	104	0.23
PM balance, g	-200	183	106	-300	179	104	0.21
PM requerida, %	86	13.1	7.54	76	12.4	7.17	0.12
Balance de nitrógeno							
N-ureico en leche, mg/dL	1.2	2.05	1.18	-0.63	1.92	1.11	0.01
NH ₃ balance ruminal, g	-31.7	18.3	10.6	-30.0	24.3	14.0	0.44
NH ₃ ruminal, % requerido	84.7	8.02	4.63	82.7	10.97	6.33	0.31
Impacto ambiental potencial							
CH ₄ , g/kg de leche	27.2	2.72	1.57	21.9	3.32	1.92	0.01
CO ₂ , g/kg de leche	726	65.6	37.9	598	105	60.6	0.01
NH ₃ potencial, g	30	19.5	11.3	12	18.7	10.8	0.01

Tratamiento 1= consumo de 4.5 kg de concentrado/d; Tratamiento 2= consumo de 3.0 kg de concentrado/d; DE= desviación estándar; EEM= error estándar de la media.



En el período de los 45 a los 60 días postparto, previo a la evaluación reproductiva, el estado fisiológico de las vacas mostró modificaciones (Cuadro 4). Las vacas del T1 iniciaron con 489 kg de peso corporal (PC) al parto y 4.5 de CC, y llegaron a los 60 días posparto con 481 kg de PC y 5.35 de CC. Es decir, perdieron 8 kg de PC y ganaron 0.85 unidades de CC. Sin embargo, las vacas del T2 iniciaron con 506 kg de PC y 4.0 de CC, y a los 60 días postparto pesaron 488 kg con CC de 4.33.

Cuadro 4. Respuesta de vacas lactando de 45 a 60 días después del parto a dos niveles de suplementación con concentrado.

Variable	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Valor p
	Media	DS	EEM	Media	DS	EEM	
Estado fisiológico							
Peso corporal, kg	481	38.3	22.1	488	46.0	26.6	0.438
Condición corporal (1 a 9)	5.35	1.86	1.07	4.33	2.12	1.22	0.096
Consumo de materia seca (MS)							
Consumo MS observado, kg	14.5	1.41	0.81	13.1	1.94	1.12	0.080
Consumo concentrado, kg	4.5	0.08	0.04	3.1	0.08	0.04	0.001
Consumo de forraje, kg	9.97	1.49	0.86	9.98	2.00	1.15	0.493
Costo, \$/d	79.2	15.61	9.01	61.1	10.59	6.11	0.073
Relación leche/alimento	0.71	0.514	0.297	0.60	0.52	0.30	0.206
Costo, \$/kg de leche	5.77	1.098	0.634	4.19	0.506	0.292	0.070
Consumo de fibra efectiva (eFDN)							
Consumo de FDNe, kg	3.13	1.185	0.684	3.37	1.29	0.745	0.211
Consumo de FDNe, % dieta	44.4	5.89	3.4	48.0	6.29	3.63	0.026
NDF, % peso corporal	1.34	0.291	0.168	1.36	0.53	0.30	0.449
Requerimientos de energía metabolizable (EM)							
EM para leche, kg	13.9	2.89	1.67	14.6	1.47	0.85	0.326
EM disponible, Mcal/d	32.9	1.42	0.820	28.4	1.03	0.597	0.003
EM mantenimiento, Mcal/d	13.5	1.17	0.674	14.1	0.611	0.353	0.291
EM lactación, Mcal/d	16.7	3.5	2.02	14.1	1.47	0.85	0.128
EM de reserva, Mcal/d	2.77	2.42	1.4	0.17	0.21	0.12	0.095
Requerimientos de proteína metabolizable (PM)							
PM para leche, kg	9.9	6.94	4.00	7.2	5.71	3.30	0.080
PM disponible, g	1136	91.9	53	978	112.4	64.9	0.003
PM para mantenimiento, g	651	117.8	68.0	644	136.5	78.8	0.444
PM para lactación, g	578	120.9	69.8	663	66.9	38.6	0.132
PM de reserva, g	184	201	116	335	258	149	0.048
PM balance, g	-171	214	124	-335	258	149	0.051
PM requerida, %	85	12.4	7.17	76	15.9	9.21	0.038
Balance de nitrógeno							
N-ureico en leche, mg/dL	1.27	2.69	1.55	-0.57	2.35	1.35	0.008
NH ₃ balance ruminal, g	-28	24	14	-212	360	208	0.222
NH ₃ ruminal, % requerido	86	9.5	5.5	84	24.3	14.1	0.435
Impacto ambiental potencial							
CH ₄ , g/kg de leche	27.3	5.23	3.02	22.3	2.4	1.39	0.069
CO ₂ , g/kg de leche	724	166	95.9	629	95.5	55.1	0.125
NH ₃ potencial, g	30.7	26.9	15.5	12.3	23.5	13.5	0.008

Tratamiento 1= consumo de 4.5 kg de concentrado/d; Tratamiento 2= consumo de 3.0 kg de concentrado/d; DE= desviación estándar; EEM= error estándar de la media.



Lo anterior resultó en una pérdida de 18 kg de PC y un pobre aumento de 0.33 unidades en la CC. Considerando que las vacas del T2 perdieron 10 kg de PC más que las vacas del T1, se asume que las vacas del T1 estuvieron un mejor balance energético para reiniciar la actividad reproductiva que las vacas del T2. Los consumos voluntarios de MS y de FDN en este período muestran tendencias, pero no son muy claras para explicar el balance energético, más bien es consecuencia acumulativa de los diferentes niveles de alimentación en los tratamientos a lo largo de todo el estudio. El nivel de concentrado en el T1 favoreció siempre mayor disponibilidad de EM y PM, ya que al comparar estos resultados de alimentación del T1 vs los del T2 para los datos reproductivos, las vacas que recibieron el T1 tuvieron una mayor ($p < 0.05$) tasa de gestación que las vacas del T2 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para número de servicios por concepción (NSC), tasa de gestación a primer servicio (TG1), días abiertos (DA) e intervalo entre partos (IEP).

Tratamiento	NSC	TG1	DA	IEP
1	1.4 ± 0.4 ^a	75.2 ± 16.4 ^a	105.4 ± 26.5 ^a	392.6 ± 27.2 ^a
2	1.6 ± 0.5 ^a	42.8 ± 21.1 ^b	117.8 ± 28.3 ^a	382.6 ± 31.8 ^a

^{a,b}Medias con distinta literal dentro de columna son diferentes ($p < 0.05$).

Parte de la incompetencia de las vacas del T2 para compensar con forraje el requerimiento de energía que exige la homeorresis de lactación, se debe al contenido de FDN del forraje. Vacas en el último mes de gestación tienen limitado su tamaño del tubo digestivo por lo que su consumo se ve limitado por la ocupación de la cavidad abdominal por el útero. En el Cuadro 1 se observa que el consumo de FDN es inferior al 1% en los dos tratamientos (0.81 y 0.93% del PC). Sin embargo, al inicio de la lactación la demanda energética manifiesta en el T1 exige máximo consumo, aprovechando el factor de distensión ruminal, obteniendo consumos de 1.17, 1.46 y 1.34% del PC en los días 15, 30 a 45 y 45 al 60 de lactación. Las vacas del T2 al tener menor producción de leche inicial, la exigencia de energía de lactación demandó tendencia diferente de consumo de FDN (1.21 y 1.36% del PC) que para los mismos períodos de las vacas del T1. Se demuestra que en sistemas doble propósito con alimentación basada en forrajes, proporcionar 4.5 y 3.0 kg de concentrado energético (T1 y T2, respectivamente) al inicio de la lactación, provee mayor EM para producción de leche (15.7 vs 11.8 kg/d; Cuadro 2), que tiende a mejorar el consumo de FDN (1.17 vs 1.21% del PC), maximizando el uso de forraje. Al inicio de la lactancia las vacas están en balance energético negativo (BEN), debido al disminuido consumo de MS, lo que provoca una alta movilización de lípidos del tejido adiposo hacia el hígado, provocado por la demanda de producción de leche, compensando así los niveles de glucosa necesarios para equilibrar la energía durante el BEN (Bjerre-Harpoth *et al.*, 2016). Las vacas del T1 iniciaron con 489 kg de peso corporal (PC) al parto y 4.5 de CC, y llegaron a los 60 días posparto con 481 kg de PC y 5.35 de CC. Es decir, perdieron 8 kg de PC y ganaron 0.85 unidades de CC. Sin embargo, las vacas del T2 iniciaron con 506 kg de PC y 4.0 de CC, y a los 60 días postparto pesaron 488 kg con CC de 4.33. Lo anterior resultó en una pérdida de 18 kg de PC y un pobre aumento de 0.33 unidades en la CC. Con esta información y utilizando las ecuaciones de Fox *et al.* (1999) se calculó la energía retenida a los 60 días de lactación por cada tratamiento, resultando que las vacas del T1 retuvieron 132.6 Mcal de ENL de la dieta y las vacas del T2 solo 9.2. Las vacas del T1 tuvieron mejor balance energético para reiniciar la actividad reproductiva que las vacas del T2. Diversos estudios demuestran que la síntesis de glucosa en las vacas se puede estimular con el uso de precursores tales como propionato (Lammoglia-Villagómez *et al.*, 2019), por lo que ésta puede ser una opción para corregir el BEN y reducir el consumo de FDN. La disponibilidad de proteína metabolizable (PM) fue más crítica todavía para ambos grupos. En el T1, de los 15.7 kg de leche producida, 12.8 kg fueron cubiertos por la proteína de la dieta; en el T2, de los 11.8 kg de leche producida, solo 6.1 kg fueron proporcionados por la proteína de la dieta. La PM de mantenimiento es indistinta entre tratamientos por razones de sobrevivencia, pero se observa un trueque entre la PM de lactación y la de reserva entre tratamientos, siendo 117 g mayor la PM que se destina para lactación en el T1, y 133 g mayor la PM para reserva en el T2. Esto quizás porque el estrés



proteico estuvo más acentuado en el T2, ya que solo se cubrió el 79% de sus requerimientos de PM, y en el T1 el 91%. La proteína de la dieta representa del 42 al 50% del costo total de las raciones de productos lácteos (St-Pierre N, 2012) y juega un papel importante en la rentabilidad del sistema de producción, ya que afecta el rendimiento de las vacas lecheras y el medio ambiente (Junsung *et al.*, 2014). Una estrategia metabólica directa es tender a secretar menos N-ureico en leche (mg/dL), el cual fue de 0.93 y -0.90 ($p=0.17$) para T1 y T2, respectivamente. En una investigación con vacas de producción media en Nueva Zelanda, el aumento de los suministros de PM no modificó la ingesta de MS, sin embargo, aumentó linealmente la producción de proteína, grasa y lactosa de la leche (Fox DG *et al.*, 1999; Van Amburgh *et al.*, 2015). Cabe resaltar el esfuerzo que realizaron las vacas de este estudio para ingerir FDN (1.40 vs 1.25% del peso corporal) por arriba de su límite físico, al recurrir al beneficio de la distensión ruminal. Dada la condición del tratamiento, las vacas del T1 lograron ($p<0.05$) consumir más EM/d (32.5 vs 26.9 Mcal), derivar más EM para lactación (19 vs 12.1 Mcal) y producir más leche (15.8 vs 12.5 kg/d). Sin embargo, el primer nutrimento limitante sigue siendo la PM, donde las vacas del T1 y T2 ($p<0.05$) dispusieron de 1,170 y 896 g/d, de los cuales destinaron para lactación 658 y 570 g/d, suficientes para producir apenas 11.8 y 6.0 kg de leche/d. Ambos tratamientos estuvieron en balance negativo de PM, al cubrir solamente el 88 y 76% del requerimiento. La consecuencia para el T2 es que tuvo que reducir el N-ureico en leche (0.73 vs -0.27; $p=0.04$) para economizar N. Se ha demostrado que aumentar los suministros de proteínas en la dieta por debajo del requisito, aumenta el rendimiento de proteínas de la leche, sin embargo, la ENL disminuyó (12.20). Parte de la deficiencia de PM se debió a una reducción en la síntesis de proteína microbiana debido a que solo se proporcionó alrededor del 80% del NH_3 requerido para la materia orgánica fermentable disponible en rumen. El impacto ambiental se traduce en mayor emisión de metano y CO_2 por kilogramo de leche producida por las vacas del T2, y mayor excreción potencial de NH_3 por las vacas del T1, debido al desbalance energético/proteico en rumen. Aunque la eficiencia de producción de leche por kilogramo de alimento se recuperó en el T2, de tal forma que el costo de alimentación por kg de leche producida fue menor (5.4 vs 4.6 \$/kg leche; $p<0.01$), como reflejo de un emparejamiento en la producción de leche (14.0 vs 14.7 kg/d). Aun cuando las vacas del T1 consumieron más EM (33.2 vs 28.1 Mcal/d), la diferencia no la derivaron toda hacia EM de lactación, sino a partes iguales con EM para reserva. Debe existir alguna señalización que le indique a la vaca como repartir los nutrientes para lactación y reserva, dependiendo del estado fisiológico y nutricional en que se encuentre. Esta señalización también podría explicar cómo es que las vacas del T2 derivaron más PM para lactación que las vacas del T1 (585 vs 669 g; $p=0.02$) durante este período, manteniendo negativo todavía el N-ureico en leche (1.2 vs -0.63 mg/dL) y permitiendo mantener baja además la excreción de NH_3 (30 vs 12 g/d). Es posible que, durante esta fase, aún con las deficiencias mostradas, las vacas del T2 tuvieron una dieta mejor balanceada en energía/proteína que les permitió ser más eficientes para producir leche, lo cual coincide con menor emisión de metano y CO_2 al ambiente. En los primeros 30 días de lactación, si la vaca inicia la lactación con baja CC, destina relativamente más EM y PM hacia reserva que hacia lactación (T2). Si la vaca inicia la lactación con buena CC, destina más EM y PM hacia lactación que hacia reservas. Pero si de los 30 a los 60 días la vaca recupera parcialmente su CC, destina más EM y PM hacia lactación (T2). Sin embargo, si la vaca pierde hasta cierto punto CC, entonces destina más EM y PM hacia reservas que hacia lactación (T1). Estos resultados muestran que, es más eficiente ofrecer EM y PM complementaria a las vacas cuando menos 15 días antes del parto, para que inicien la lactancia con CC de 5 (escala 1 a 9). Durante los primeros 30 días de lactación, la relación con la cual la vaca repartirá nutrientes hacia lactación depende del PC y la CC. Durante este período, monitorear el PC y la CC es tan importante como la producción de leche, porque definirán el comportamiento consecuente de la vaca. Las vacas en el T1 perdieron menos CC; esta ventaja se vio reflejada en una mayor ($p<0.05$) tasa de gestación a primer servicio. Este comportamiento indica que las vacas del T1, aunque no derivaron suficiente energía proveniente de gluconeogénesis para mayor lactogénesis, si ocuparon glucosa necesaria para desarrollo y madurez de los folículos ováricos, que junto con un protocolo de IATF, culminó en que el 75% de las vacas quedaran gestantes a diferencia del T2, con el cual solo el 43% respondieron a este tratamiento a 70 días posparto. Los problemas reproductivos en el trópico húmedo están condicionados por un sinnúmero de factores: las condiciones ambientales, el manejo, la falta de energía en la dieta, la salud, la infraestructura y los genotipos utilizados; todos estos influyen para no lograr una eficiente reproducción (Moyano *et al.*, 2013). Influencias nutricionales durante el período de transición (± 4 semanas de parto) pueden ser de particular importancia, pero está claro que el efecto de



la dieta sobre la fertilidad durante este período es complejo y multifactorial, por lo que el uso de IATF como alternativa, permitió servir a las vacas poco después del periodo de espera voluntario, independientemente del estado de ciclicidad en que se encontraban. En este sentido, las técnicas hormonales usadas para acelerar la presentación de la ciclicidad ovárica durante el posparto tienen un gran impacto en la producción bovina (Baruselli *et al.*, 2018). Debido a que el incremento de EM en la ración de vacas cruzadas en el trópico se ve limitado por un alto consumo de FDN, la administración de precursores glucogénicos durante el periodo de transición podría resultar en un efecto positivo. Bajo las condiciones de este estudio la PM siempre fue deficiente durante la lactación y para producir 14 kg de leche/d se requieren mínimo 30 Mcal de EM y 1,350 g de PM. En el T2 la deficiencia de PM repercutió en menor contenido de N en leche, deficiencia que impacta directamente a la industria quesera, que es el principal destino de la leche en la región. Por otro lado, apoyando con amamantamiento restringido (8 h posteriores al ordeño) y destete temporal de 72 h a partir del retiro del DI al aplicar el protocolo hormonal de IATF, se maximizó también el comportamiento reproductivo de vacas en el trópico al implementar un programa de sincronización de la ovulación a los 70 días posparto. Se obtuvieron períodos abiertos de 105 a 117 d y períodos interparto de 13 a 14 meses, parámetros que impactarían también en la eficiencia reproductiva del trópico de México.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al inicio de la lactación la demanda energética manifiesta en el T1 exige máximo consumo, aprovechando el factor de distensión ruminal. Se recomienda que en el período de 45 a 60 días se incremente la concentración de EM. Se debe reducir la concentración de FDN en la ración, porque quedó demostrado que las vacas tienen un límite de 1% de su PC para consumir fibra. El incremento de EM en la ración de vacas cruzadas en el trópico se ve limitado por un alto consumo de FDN, la administración de precursores glucogénicos durante el periodo de transición podría resultar en un efecto positivo. Una vaca cruzada promedio de doble propósito que pesa 480 kg y condición corporal de 5 (escala de 1-9), para llegar a producir 14 kg/d de leche a los 60 días de lactación, requiere consumir 33 Mcal/d de energía y 1,307 g/d de proteína. Para ello es necesario reducir el consumo de fibra. Debido a que la PM de balance siempre fue deficiente, es necesario enfocar estudios con aporte de aminoácidos específicos a partir de los primeros 15 días en lactación.

LITERATURA CITADA

- Baruselli P.S., Ferreira R.M., Sá Filho M.F., and Bó GA. 2018. Using artificial insemination v. natural service in beef herds. *Animal*, 12 (Supplement s1):S45-S52.
- Bjerre-Harpoth V., Storm A.C., Vestergaard M., Larsen M., and Larsen T. 2016. Effect of postpartum propylene glycol allocation to over-conditioned Holstein cows on concentrations of milk metabolites. *J Dairy Res.*, 83(2):156-164.
- Fox D.G., Van Amburgh M.E., and Tylutki T.P. 1999. Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. *J Dairy Sci.*, 82(9):1968–1977.
- García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª ed. México, D.F.: Instituto de Geografía-UNAM; 2004.
- Hans Andresen S. 2008. La vaca en transición. www.perulactea.com (Consultado el 09 de julio de 2018).
- Junsung L., Jakyem S., Se Young L., Kwang Seok K., and Seongwon S. 2014. Meta-analysis of factors affecting milk component yields in dairy cattle. *Journal of Animal Science and Technology*, 56:5
- Lammoglia-Villagómez M., Cabrera-Núñez A., Alarcón-Zapata M., Rojas-Ronquillo R., Chagoya-Fuentes J., and Daniel-Rentería I. 2019. Beneficios del Propilenglicol en el Periparto en Cetosis Subclínica y Parámetros Productivos en el Trópico Veracruzano. *Abanico veterinario*, Vol. 9. pp 1–7.
- Licitra G., Hernandez T.M., Van Soest P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim Feed Sci Technol*, 57(4):347-358.
- Lean I.J., Van Saun R., and DeGaris P.J. 2013. Energy and Protein Nutrition Management of Transition Dairy Cows. *Vet Clin Food Anim* 29 337–366.
- Moyano J.C., López J.C., Vargas J., Quinteros O.R., and Marini PR. 2015. Plasmaspiegel von LH (luteinisierendes hormon), brunstsymptome und qualität der gelbkörper in verschiedenen



-
- protokollen, zur synchronisation der brunst in Brown-Swiss-Milchrindern. *Züchtungskunde*. 87(4):265-271. 23.
- SAS. SAS/STAT. Version 9.3. 4th ed. SAS Institute: Cary, USA; 2011.
- St-Pierre N. 2012. The cost of nutrients, comparison of feedstuffs prices and the current dairy situation. *Buckeye Dairy News*, 14(2).
- Van Amburgh M.E., Collao-Saenz E.A., Higgs R.J., Ross D.A., Recktenwald E.B., Raffrenato E., Chase L.E., Overton T.R., Mills J.K., and Foskolos A. 2015. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *J Dairy Sci.*, 98(9):6361-6380.
- Zárate-Martínez J.P., Hernández Hernández V.D., Montero Lagunes M., Juárez Lagunes F.I., Ríos Utrera A., and Aguilar Muslera R.E. 2016. Actividad ovárica posparto posterior al consumo de tres niveles de fibra detergente neutra en vacas lecheras del trópico. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*, Vol. 4 Núm. 1: 1-9.



OXIDACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DE LA CARNE DE BOVINOS ALIMENTADOS EN PASTOREO Y ESTABULADO

OXIDATION AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE MEAT OF CATTLE FED IN GRAZING AND FEEDLOT

¹Vélez Pérez MG, ²Granados Rivera LD, ¹Loredo Osti J, ¹Ruiz Albarrán M, ¹Luna Castro S,
¹Bautista Martínez Y

¹Universidad Autónoma De Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Cd. Victoria - Cd. Mante Km. 5, Ej. Santa Librada. Ciudad Victoria, Tamaulipas,

Autor para correspondencia: ybautista@docentes.uat.edu.mx

² Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria, General Terán, Km. 31 Carretera Montemorelos-China Exhacienda Las Anacuas, C.P. 67400

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del sistema de alimentación pastoreo y estabulado en ganado bovino de carne sobre las características fisicoquímicas y capacidad total antioxidante de la carne, para esto se analizaron 40 muestras del musculo *logissimus dorsi* de bovinos alimentados en pastoreo y 40 muestras de bovinos alimentados en estabulado. Las variables analizadas fueron; pH, color, perdida por goteo y rendimiento por cocción a las 24 horas *posmortem* y capacidad total antioxidante en los días 0,1,3,5,7 y 9. Para comparar las medidas entre tratamientos de las variables fisicoquímicas se realizó un análisis de varianza, la capacidad total antioxidante en un diseño completamente al azar con medidas repetidas. No hubo diferencias significativas entre las características fisicoquímicas de animales alimentados en pastoreo y estabulado ($P>0.05$). La carne de animales alimentados en pastoreo mostró una mayor capacidad total antioxidante respecto a la carne de animales alimentados en estabulado, con diferencias significativas ($P>0.01$). Además de mostrar diferencias ($P<0.01$) en la capacidad total antioxidante en el transcurso del almacenamiento y un efecto significativo de interacción del sistema de alimentación, con los días de almacenamiento de la carne. El sistema de alimentación pastoreo o estabulado, no influyen en las características fisicoquímica de la carne pero si en la capacidad total antioxidante.

Palabras clave: Capacidad total antioxidante, calidad de carne, oxidación de carne.

INTRODUCCION

En México, el sistema de producción bovinos carne busca producir novillos para abasto, además de la cría de becerros para exportación y la producción de pie de cría. En este sistema, la producción animal se logra mediante la producción intensiva o engorda en corral y extensiva o mediante la engorda en pastoreo. México ocupa el 8° lugar a nivel mundial en la producción de carne de bovino, con 1960 miles de toneladas, de un total de 62.88 millones de toneladas producidas en el mundo. En México, el consumo per cápita anual es de 14.8 kg, el tercero más importante además de la carne de pollo y cerdo (CMC, 2019). Uno de los principales retos que presenta la industria de la carne es ofrecer productos que cumplan con las características deseables para el consumidor como color, textura, sabor y aroma (Valenzuela y Pérez, 2016).

La oxidación es una de las causas principales del deterioro de la calidad en la carne, factores intrínsecos como grasas y proteínas influyen en las variables físicas y químicas de la carne, que contribuyen en reducir su vida de anaquel por la formación de compuestos tóxicos (Mapiye et al., 2012). Por lo anterior, la industria de la carne recurre a la utilización de antioxidantes naturales y sintéticos directamente en el producto a comercializar, que en consecuencia aumenta la vida de anaquel. Sin embargo, algunos de ellos modifican el sabor de los productos. Bajo estas condiciones los consumidores se inclinan por adquirir alimentos con menos conservadores artificiales (Karre et al., 2013). Diversos estudios reportan que la alimentación saludable tiene una relación con el tipo de grasa (saturada, mono insaturada y poliinsaturada), y esta influye directamente con el grado de oxidación de la carne, animales alimentados



en el sistema de pastoreo contienen una mayor cantidad de ácidos grasos polinsaturados en la carne, respecto a los que son alimentados en estabulado (Bautista-Martínez et al., 2020).

Los lípidos insaturados son más propensos a la oxidación que los lípidos saturados, por ello, la carne puede tener un mayor grado de oxidación lo que reduce la vida de anaquel. Por lo tanto, si el tipo de grasa es uno de los factores que mayor influencia tienen en la oxidación de la grasa, y esta puede ser modificada con el tipo de dieta consumida, (Zhang et al., 2011). Conocer el grado de oxidación de la carne en animales alimentados en pastoreo y estabulado puede servir para buscar estrategias de alimentación que contribuyan a aumentar la vida de anaquel de los productos cárnicos desde el sistema de producción, sin utilizar conservadores directamente en el producto final.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el rastro Tipo Inspección Federal No. 445 de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, ubicada en Victoria, Tamaulipas. El clima predominante es cálido subhúmedo (aw1), temperatura media anual de 24°C, a una altura de 1000 msnm y una precipitación promedio anual de 738.1 mm.

pH

Para medir el pH en carne se utilizó un potenciómetro, provisto de un electrodo de punción (Modelo HI 99163, Hanna, Texas, USA).

Color

Se midieron los valores de L* (luminosidad), a* (índice de rojo) b* (índice de amarillo) con un colorímetro (Mod CR-400/410, Minolta, Tokio, Japón), previamente calibrado con una placa en blanco (Y=93.5, x=0.3114, y=0.3190)

Pérdida por goteo

Se pesaron 20 g de carne magra del músculo longissimus dorsi, y se colocaron con un hilo dentro de una bolsa de plástico con cierre hermético, de manera que la carne dentro de la bolsa quedó suspendida. Las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C por 24 h. Más adelante, se volvieron a pesar y se calculó la pérdida por goteo expresada como el porcentaje de pérdida de peso de la muestra respecto a su peso inicial.

Rendimiento por cocción

Se tomaron 30 g de muestra y se colocaron en una bolsa de plástico resistente a la cocción, después se colocaron en un baño maría a 75°C, durante una hora o hasta que alcanzaron una temperatura interna de 70°C. Los valores se expresaron como porcentaje de la muestra respecto de su peso inicial.

Capacidad Total Antioxidante

La capacidad total antioxidante de la carne de bovino se midió en los días 0, 1, 3, 5, 7 y 9 en las muestras refrigeradas a 4 °C, simulando las condiciones comerciales de acuerdo a (Serpen et al., 2012).

Tratamientos

Se establecieron dos tratamientos de 40 muestras cada uno. El tratamiento uno fueron muestras de canales de animales alimentados en el sistema de pastoreo y el tratamiento dos, fueron 40 muestras de canales de animales alimentados en estabulado.

Análisis estadístico

Para comparar las medias entre tratamientos de las variables fisicoquímicas de la carne, se realizó un análisis de varianza (clasificación de una vía), con el procedimiento ANOVA del Software de análisis estadístico SAS.

La capacidad total antioxidante de la carne fue analizada usando un diseño completamente al azar con medidas repetidas, mediante el procedimiento MIXED de SAS. El modelo incluyó los efectos principales de tratamientos, periodos y la interacción tratamiento x periodo.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas de la carne

Los valores de pH, color (L^* , a^* y b^*), pérdida por goteo y rendimiento por cocción de la carne de bovinos alimentados en pastoreo y estabulado no mostraron diferencias significativas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de la carne de bovino alimentados en pastoreo y estabulado.

	Pastoreo	Estabulado	EEM	P
pH	5.71	5.72	0.0198	0.8750
L^*	38.61	39.11	0.2028	0.0913
a^*	22.22	22.05	0.1132	0.3113
b^*	15.11	15.13	0.0301	0.6692
PG (% o g 100 g ⁻¹)	1.83	1.85	0.0266	0.6149
Rendimiento por Cocción %	81.25	81.33	0.2293	0.8208

L^* = luminosidad; a^* = índice de rojo; b^* =índice de amarillo; PG= pérdida por goteo (g 100 g⁻¹); EEM: error estándar de la media; P= probabilidad. Nivel de significancia ($P>0.05$).

Las características fisicoquímicas de la carne de animales alimentados en pastoreo y estabulado no mostraron diferencias, estos resultados coinciden con los obtenidos por Bautista-Martínez et al., (2020) quienes concluyeron que el sistema de alimentación no influye en el valor nutritivo de la carne, ni en las características fisicoquímicas, por otra parte (Gallo & Tadich, 2005), mencionan que los factores que principalmente contribuyen a modificar las variables que determina calidad de carne son; manejo de los animales ante mortem, manejo en la planta de sacrificio y almacenamiento. En valor de pH final en la carne de los animales alimentados en ambos sistemas correspondió a una carne Normal, los valores de pH de la carne normal se encuentran en un rango de 5.5 a 5.8, los cuales corresponden a un pH que no influye de forma negativa en el resto de las características fisicoquímicas, debido a que un pH con valores inferiores a 5.5 la carne es clasificada como PSE y superiores a 6 es considerada DFD, y ambos tipos de carne muestran características indeseables para el consumidor de carne de res, tales como; un color rosa pálido (PSE) y rojo oscuro (DFD), alta pérdida de agua durante el almacenamientos, bajos rendimientos por cocción en la industria cárnica.

Respecto a la pérdida por goteo, una carne normal tiene pérdidas del 2 al 3 %, sin embargo, si el pH es bajo en carne puede ocasionar una mayor pérdida de agua, lo que a su vez repercute en el rendimiento por cocción. A mayores pérdidas de agua, existe un menor rendimiento por cocción.

Capacidad total antioxidante

La capacidad total antioxidante en el tiempo, la carne de los animales alimentados en pastoreo incremento hasta el día 5, y se mantuvo estable hasta el día 7, sin mostrar diferencias ($P<0.01$) entre estos días. Posteriormente, la capacidad antioxidante disminuyo al día 9, con diferencias ($P<0.01$) respecto a los demás días de almacenamiento (Cuadro 2).

Por otra parte, las carne de los animales alimentados en estabulado, mostraron valores menores en la capacidad antioxidante durante los días de almacenamiento de la carne, respecto a los animales alimentados en pastoreo, con excepción del día 3, donde la capacidad antioxidante fue mayor respecto a carne de animales en pastoreo, es decir la actividad de los compuestos antioxidantes presentes en la carne, empiezan a capturar de forma temprana radicales libres para impedir la formación de compuestos oxidativos, sin embargo, en algún momento la capacidad antioxidante disminuye y comienza la descomposición de la carne. La capacidad antioxidante de la carne de bovinos en estabulado incrementó hasta el día cinco y se mantuvo estable hasta el día 7, sin mostrar diferencias estadísticas entre estos tiempos, posteriormente en el día nueve disminuyó significativamente.



Cuadro 2. Capacidad total antioxidante en mmol /kg base seca de carne de bovinos alimentados según sistema de alimentación en diferentes días.

Tratamiento	Días						EEM	P
	0	1	3	5	7	9		
Estabulado	2.48 ^{ey}	3.62 ^{dy}	6.99 ^{bz}	7.42 ^{ay}	7.54 ^{ay}	6.12 ^{cy}	0.045	<0.0001
Pastoreo	2.85 ^{ez}	4.68 ^{dz}	5.38 ^{cy}	8.43 ^{az}	8.06 ^{az}	6.77 ^{bz}	0.045	<0.0001

EEM: Error estándar de la media.

^{a,b,c,d,e} Medias con distinta literales en columna son diferentes (P < 0.01).

^{z,y} Medias con distinta literales en fila son diferentes (P < 0.01).

La capacidad total antioxidante en el tiempo, incrementó hasta el día siete de almacenamiento, tanto en carne de animales en pastoreo como estabulado, donde se obtuvieron los valores máximos, sin embargo la carne de animales alimentados el pastoreo, presentó una mayor capacidad antioxidante respecto a la carne de animales alimentados en estabulado, mientras que en el día nueve de almacenamiento, la capacidad total antioxidante disminuyó, este efecto puede explicarse debido a que la cantidad de compuestos oxidativos va aumentando con el tiempo, y las sustancias antioxidantes van capturando los radicales libres formados durante el proceso de oxidación, ya que los antioxidantes, para detener el proceso de oxidación comienzan a degradarse, hasta que son agotados, mientras que el proceso de oxidación total este efecto no sucede (Love y Pearson, 1971).

Además, que durante al almacenamiento de la carne en anaquel, es expuesta a oxígeno, luz y la oxidación de los lípidos y proteína de la carne es iniciada por estos factores (Laguerre *et al.*, 2007) posterior a la iniciación de la oxidación de proteínas y grasas, comienza la etapa de propagación, donde hay una mayor formación de radicales libres y compuestos oxigenados, y finalmente ocurren las reacciones de terminación que consiste eventualmente la finalización del proceso de oxidación, que puede ser negativo o positivo (Santé-Lhoutellier *et al.*, 2008). Si es negativa, los compuestos antioxidantes se agotan y el proceso de oxidación continuará, en caso de ser positiva, los antioxidantes posiblemente detienen el progreso de la oxidación.

CONCLUSIONES

El sistema de alimentación de bovinos en pastoreo y en estabulado no influye en las características fisicoquímicas de la carne, pero si en la capacidad total antioxidante, y esta capacidad es mayor en carne de animales alimentados en pastoreo que en estabulado.

La capacidad total antioxidante de la carne incrementa con el tiempo de almacenamiento, hasta llegar un máximo, en carne de bovino el valor máximo se encuentra en el día 7 de almacenamiento, independientemente del sistema de alimentación del animal. Mientras mayor sea la CTA de la carne, más será la durabilidad en el anaquel y se retrasará la oxidación de los lípidos y proteínas.

Esta información puede ser utilizada para implementar estrategias de alimentación, que contengan una mayor cantidad de sustancias antioxidantes, para incrementar la capacidad total antioxidante de la carne durante el almacenamiento y retardar su deterioro.

LITERATURA CITADA

- Bautista-Martínez, Y., Hernández-Mendo, O., Crosby-Galván, M. M., Joaquin-Cancino, S., Ruíz Albarrán, M., Salinas-Chavira, J., & Granados-Rivera, L. D. 2020. Physicochemical characteristics and fatty acid profile of beef in Northeastern Mexico: grazing vs feedlot systems. *CyTA-Journal of Food*, 18(1), 147-152.
- CMC. Consejo Mexicano de la Carne. Compendio estadístico 2018. Disponible en <https://comecarne.org/estadisticas/>, consultado el 14 de agosto del 2019.



-
- Gallo, C., & Tadich, N. 2005. Transporte terrestre de bovinos: efectos sobre el bienestar animal y la calidad de la carne. *Agro-ciencia*, 21(2), 37-49.
- Karre, L., Lopez, K., & Getty, K. J. 2013. Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat science*, 94(2), 220-227.
- Laguerre, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. 2007. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress in lipid research*, 46(5), 244-282.
- Love, J. D., & Pearson, A. M. (1971). Lipid oxidation in meat and meat products, A review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 48(10), 547-549.
- Mapiye, C., Aldai, N., Turner, T. D., Aalhus, J. L., Rolland, D. C., Kramer, J. K. G., & Dugan, M. E. R. 2012. The labile lipid fraction of meat: From perceived disease and waste to health and opportunity. *Meat science*, 92(3), 210-220.
- Santé-Lhoutellier, V., Engel, E., & Gatellier, P. H. 2008. Assessment of the influence of diet on lamb meat oxidation. *Food Chemistry*, 109(3), 573-579.
- Valenzuela, C., & Pérez, P. 2016. Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos. *Revista chilena de nutrición*, 43(2), 188-195.
- Zhang, W., Xiao, S., & Ahn, D. U. 2013. Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(11), 1191-1201.



CLASIFICACIÓN DE CARNE PSE Y DFD DE ANIMALES SACRIFICADOS EN EL RASTRO TIF PARA BOVINOS EN CIUDAD VICTORIA, TAMAULIPAS

CLASSIFICATION OF MEAT PSE AND DFD OF ANIMALS SLAUGHTER IN THE TIF TRAIL FOR CATTLE ON CIUDAD VICTORIA, TAMAULIPAS

^{1*} Ponce Jiménez HA, ¹Vázquez Villanueva J, ¹Luna Castro S, ¹Loredo Osti J, ¹Ruiz Albarrán M, ¹Bautista Martínez Y

¹Universidad Autónoma De Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Cd. Victoria - Cd. Mante Km. 5, Ej. Santa Librada. Ciudad Victoria, Tamaulipas, Autor para correspondencia: ybautista@docentes.uat.edu.mx

RESUMEN

En la producción de bovinos de carne, el resultado final del proceso, concluye con la calidad de la carne que se ofrece al consumidor, por esta razón es importante conocer el tipo de carne que se obtiene en el rastro, para identificar en que parte del proceso realizar mejoras. El objetivo se estudio fue determinar la frecuencia de la carne tipo PSE, DFD y normal en el rastro TIF de Ciudad Victoria Tamaulipas, para esto fueron muestreadas 400 cortes de carne del músculo *Longissimus dorsi* de diferentes canales, durante un periodo de seis meses. Se midieron los valores de pH final, pérdida por goteo y rendimiento por cocción a las 24 horas *pos mortem*, y de acuerdo a los valores obtenidos se realizó la clasificación de tipo de carne. Se encontró 48.5 % clasificada como PSE, 22.5 % carne considerada como normal y el 29 % se clasificó como una carne DFD. Se sugiere que se deben revisar las prácticas de manejo *ante* y *pos mortem* de los animales, para disminuir la incidencia de carne PSE y DFD, ya que pueden representar pérdidas económicas por un menor rendimiento de la carne.

Palabras clave: *Calidad de carne de bovino, pH, pérdida por goteo, rendimiento por cocción.*

INTRODUCCION

La carne es una fuente de proteína en la dieta del ser humano, en el mundo la carne de porcino, pollo y bovino son las que más se consumen. Por otra parte, México se caracteriza por ocupar el 7° lugar en el mundo como consumidor de carne de bovino con 186,500 t, el 8° lugar como productor con 202,000 t y el 10° lugar como exportador con 355,000 t y tiene un consumo per cápita de 15.2 kg. Durante el proceso de producción de la carne se deben cuidar factores como manejo animal, sanitario, alimenticio etc. que contribuyan para la obtención de un producto de calidad, sin embargo, el manejo durante el proceso productivo no garantiza el obtener un producto que cumpla con las características que el consumidor demanda, debido a que también influye el manejo que se les dé a los animales desde la salida de la unidad de producción hasta que son sacrificados, puede estar sometido a un estrés por corto o largo tiempo lo que puede influir negativamente en la calidad de la carne (Gallo y Tadich, 2005). En carne de bovino existen tres calificaciones de carne Pálida, Suave y Exudativa (PSE), Dura, Firme y Seca (DFD) y Normal, la variable que mayor influye en la clasificación es el valor de pH en carne a las 24 horas post mortem, el valor final de pH va a tener una relación positiva o negativa con la pérdida por goteo y rendimiento por cocción, que son las características que mayor impacto económico tiene en la comercialización (Hocquette et al., 2012). La clasificación de carnes PSE y DFD representa pérdidas económicas muy importantes, porque el rendimiento no es el mismo tanto en la carne cruda como en el procesamiento de la industria cárnica, como si se obtuviera una carne normal, en el Estado de Baja California Norte se estiman pérdidas de 5, 272,946 dólares en seis meses por la incidencia de carne DFD (Leyva-García et al., 2012). Sin embargo, el desconocimiento de la incidencia de la presencia de estos tipos de carne no ha permitido realizar mejoras y de esta forma se obtengan mayores rendimientos. Debido a lo anterior, el objetivo del presente trabajo es determinar la frecuencia de carne PSE y DFD de ganado bovino sacrificado en el rastro TIF de Ciudad Victoria Tamaulipas, mediante la medición del pH final, la pérdida por goteo y rendimiento por cocción de la carne.



MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el rastro TIF de Ciudad Victoria Tamaulipas (23°44'30.3" N 99°8.759' O), ubicado en la Posta Zootécnica de Facultad de Medicina Veterinaria, perteneciente a la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en el kilómetro 5 carretera Ciudad Mante.

Evaluación de las características fisicoquímicas de la carne

Medición de pH

Se midió el pH a las 24 h *post mortem* de un corte que se realizó del músculo *Longissimus dorsi*, insertando el electrodo totalmente en la carne por 30 segundos (Mariño et al., 2005), con un potenciómetro portátil (HI99163) que incluye una sonda FC2323 especializada con un cuerpo de PVDF y punta cónica con cuchilla de acero inoxidable y una unión abierta para facilitar la perforación de la carne, previamente calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4.00 y 7.00.

Rendimiento por cocción

Se tomaron 50 g de cada muestra, para lo cual se utilizó una balanza analítica (Ohaus Adventure) y se depositaron en una bolsa Ziploc. Posteriormente se colocó en un baño maría a 90°C por 15 minutos, donde se midió la temperatura interna de la carne con un termómetro de punzón. Después las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente y pesadas nuevamente para obtener por diferencias de peso el rendimiento por cocción expresado en porcentaje.

Pérdida por goteo

Se tomaron 30 g de muestra y se colocaron en un anzuelo que va exactamente en medio de un palillo que atraviesa el vaso de unicel invertido, donde quedó colgada la muestra de carne de cada canal sin tocar las paredes del vaso. Posteriormente se almacenaron a 4°C y se pesaron 24 h después. La pérdida por goteo se expresó como el porcentaje de pérdida de peso de la muestra respecto de su peso inicial.

Clasificación de Carne PSE, Normal y DFD

La clasificación de la carne de PSE, DFD y Normal se realizó de acuerdo a los valores de pH del Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de pH que clasifican una carne PSE, Normal y DFD.

PSE	Normal	DFD	Autor
pH \leq 5.5	5.6 \geq pH \leq 5.9	pH \geq 6.0	Bautista y Ríos, (2009).
-----	5.6 \geq pH \leq 5.9	pH \geq 6.0	Álvarez et al., (2014).
pH \leq 5.5	5.6 \geq pH \leq 5.9	pH \geq 6.0	Adzitey y Nurul, (2011).

Método de Muestreo

Se tomaron 400 muestras de carne de diferentes canales de aproximadamente 80 g de carne, incidiendo con un cuchillo de acero inoxidable marca Victorinox en la parte del músculo *Longissimus dorsi*, a la altura del espacio intercostal de la 12a-14 a costilla, todas las mediciones en la carne se realizaron 24 horas *post mortem*.

El método de muestreo fue un muestreo aleatorio irrestricto sin remplazo, es un procedimiento en el cual cada canal de bovino de la población de tamaño N, tiene la misma oportunidad de ser seleccionada y tomar una muestra de carne, para formar la muestra de tamaño n (400). La muestra obtenida será denominada muestra simple aleatoria. Las unidades, una vez escogidas, no son susceptibles de una nueva elección (Martínez, 2012). Las muestras se colocaron en bolsas ziploc, selladas e identificadas con el número de muestra, lugar de procedencia y carnicería a donde se dirige la canal. Posteriormente fueron procesadas en el laboratorio de investigación de Ciencia y Tecnología Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica.



Análisis estadístico

Para medir la frecuencia de carne de bovino categorizada como PSE, DFD y Normal, se empleó un análisis unidimensional de proporciones para los tres tipos de carne. Utilizando el procedimiento PROC FREQ de SAS, que clasificó las frecuencias de acuerdo a los valores de pH.

Se comparó el porcentaje para cada tipo mediante la prueba Z con un nivel de significancia del 5%. Adicionalmente se empleó un análisis gráfico de índole de barras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de frecuencias mostró que el 48.5 % (n=194) de las muestras analizadas tuvieron un pH $5.5 \leq$ clasificada como PSE, mientras que 22.5 % (n=90) presentó un pH de 5.6 a 5.9 carne considerada como normal y el 29 % (n=116) se clasificó como una carne DFD con valores de pH $6.0 \geq$ (Figura 3).

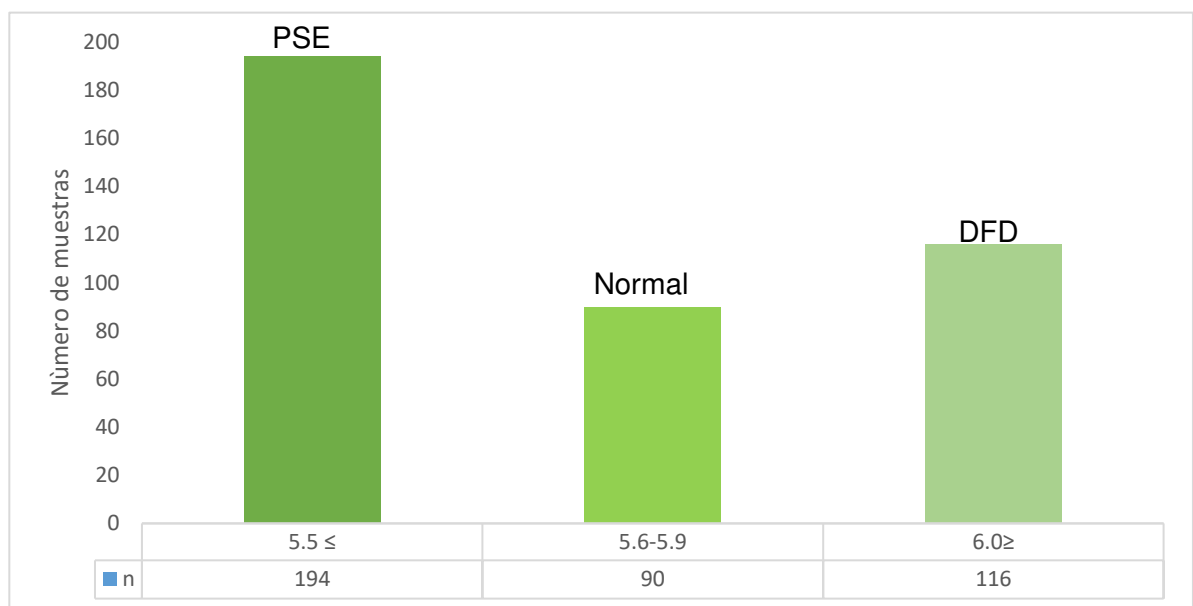


Figura 1. Incidencia de carne PSE, Normal y DFD en bovinos.

El análisis de varianza mostró diferencias ($P < 0.01$) en el valor de pH, los valores mayores los tuvieron la carne tipo DFD, seguido de la Normal y PSE. Respecto a la pérdida por goteo no se encontraron diferencias ($P > 0.01$) en los valores de la carne tipo DFD y Normal, mientras que para el rendimiento por cocción la carne Normal tuvo los valores mayores con diferencias significativas respecto a la carne PSE Y DFD (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento por cocción y pérdida por goteo por tipo de carne.

Variable	PSE n=194	Normal n=90	DFD n=116	P Value
pH	5.1 ^c	5.8 ^b	6.3 ^a	<.0001
Perdida por goteo (%)	5.4 ^a	2.8 ^b	3.1 ^b	<.0001
Rendimiento por cocción (%)	73.76 ^b	76.83 ^a	72.1 ^b	<.0001

PSE= Carne pálida suave y exudativa; Normal= Carne Normal; DFD= Carne dura, firme y seca.

^{a,b,c}, Medias con distintas letras son diferentes estadísticamente ($P < 0.01$)



El tipo de carne que se presentó en mayor porcentaje fue la de tipo PSE, este comportamiento puede ser atribuido a un mal manejo *ante mortem* ocasionado por un estrés fuerte al animal antes del sacrificio, durante embarque, transporte y desembarque. Se reporta que malas prácticas de manejo animal *ante mortem* en el rastro, un mal enfriamiento de la canal, pueden ser responsables de hasta un 50 % de la incidencia de carne PSE (Alarcón et al., 2005), por lo tanto, el otro 50 % se debe al manejo y cuidado de los animales antes de la llegada al rastro, o factores como temperatura ambiental, raza, ya que las razas *Bos Indicus* son más nerviosas que las *Bos Taurus*.

Adzitey y Nurul (2011), mencionan el factor más común que conduce a una carne PSE es exponer a los animales a un estrés agudo justo antes de la matanza que incluye uso de chicharras eléctricas, golpear a los animales, gritos, peleas entre animales, hacinamiento en el corral, aturdimiento incorrecto. Lo que puede explicar parte del alto porcentaje de la incidencia de carne PSE en el rastro TIF de Ciudad Victoria, por una falta de capacitación y concientización en el manejo y cuidado de bienestar animal al personal que labora en el rastro.

De acuerdo a Pérez-Linares et al, (2008), los factores que ocasionan una carne DFD son, tiempos prolongados de transporte desde el arreo de los animales en la unidad de producción hasta llegar a la planta de sacrificio. Y posteriormente al estrés que son sometidos por el tiempo de espera al sacrificio en planta o permanencia en los corrales esperando turno, lo que puede superar en algunos casos de hasta las 18 horas, para que los animales sean sacrificados lo cual al superar las 12 y 18 horas, aunado que el transporte es uno de los factores más estresante para los bovinos (Romero y Sánchez, 2012). Estos factores pueden explicar la incidencia del 29 % de carne tipo DFD en el rastro.

Una de las desventajas de la carne DFD es que es susceptible al deterioro bacteriano consecuencia de un pH final en carne alto, apariencia de color rojo oscura, la cual regularmente el consumidor la asocia con una carne vieja o descompuesta y se involucra a las pérdidas económicas ya que disminuye en este tipo de carne alrededor de un 10% del precio por kilogramo de la canal. De acuerdo a estudios, en México se identificó que las industrias cárnicas, tienen pérdidas económicas en la carne por esta condición de 85.58 dólares por canal (Pérez-Linares et al., 2013), que corresponde a un valor de \$1091.00 de acuerdo al tipo de cambio del peso al dólar correspondiente en el año 2013, año en que se realizó el estudio. Al respecto, lo que puede explicar que a pesar de las pérdidas económicas que se generan la carne de los animales que son sacrificados en el rastro, generalmente es distribuida en las carnicerías del municipio de Ciudad Victoria y alrededores, donde las personas que adquieren la carne no son tan cuidadosas en ver las características físicas de la carne, ya que estas son atendidas por el carnicero de acuerdo al corte que el consumidor demande (Vilaboa-Arroniz et al., 2009), una menor proporción a tiendas de autoservicios donde el consumidor es más selectivo en su compra, además que puede comparar en el anaquel los diferentes cortes de carne.

En relación a la clasificación de la carne de acuerdo al valor de pH final de una carne PSE promedio de 5.1 coincide por lo reportado por (Adzitey y Nurul, 2011), quienes mencionan que una carne para ser considerada PSE el valor de su pH final debe ser igual o inferior a 5.5, este tipo de carne tiene una apariencia de color rojo pálido, debido a la desnaturalización de la mioglobina y metabioglobina responsables de color rojo cereza brillante de la carne de bovino.

De acuerdo al estudio de Morón-Fuenmayor y Zamorano, (2004), en porcentaje de pérdida de agua de 2.8 %, corresponde a una carne de bovino normal, y se sugiere que la carne debe almacenarse en anaquel por máximo 24 horas, ya que la pérdida de agua va incrementando con el tiempo de almacenamiento pudiendo superar hasta el 3 % del peso total, lo cual no es deseable para el consumidor.

Los resultados de este estudio mostraron la carne que tuvo un mayor rendimiento por cocción fue la carne tipo Normal, debido a que la pérdida por goteo fue menor respecto a la carne tipo PSE y DFD, esta variable es importante para la industria de la transformación de la carne, cuando se tiene alimentos procesados que son sometidos a un proceso de cocción se espera que el rendimiento sea el máximo,



porque tendrá una relación directa con los ingresos económicos generados, por esta razón es de importancia evitar la carne tipo PSE que dar resultados un menor rendimiento (Kondjoyan et al., 2014).

CONCLUSIONES

En el estudio se encontró que el rastro TIF de Cd. Victoria, Tamaulipas tiene una incidencia de carne tipo PSE, DFD, mismas que no son deseables para la industria transformadora de alimentos, y para el consumidor. Esta información puede servir para mejorar las prácticas de manejo de los operarios del rastro TIF, basada en la normatividad, para crear conciencia de las pérdidas económicas que se está generando por un simple mal manejo, y que esto perjudica a los productores por tener pérdidas en el rendimiento de la carne y a los consumidores por ofrecerles un producto que no satisfaga sus expectativas.

LITERATURA CITADA

- Adzitey, F., & Nurul, H. 2011. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences-a mini review. *International Food Research Journal*, 18(1), 11-20.
- Alarcón, A. D. R., Atondo, J. O. D., Almeida, F. A. R., & Vidales, H. J. 2005. Incidencia de carne pálida-suave-exudativa (PSE) y oscura-firme-seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *Técnica Pecuaria en México*, 43(3), 335-346.
- Gallo, C., & Tadich, N. 2005. Transporte terrestre de bovinos: efectos sobre el bienestar animal y la calidad de la carne. *Agro-ciencia*, 21(2), 37-49.
- Hocquette, J. F., Botreau, R., Picard, B., Jacquet, A., Pethick, D. W., & Scollan, N. D. 2012. Opportunities for predicting and manipulating beef quality. *Meat science*, 92(3), 197-209.
- Kondjoyan, A., Kohler, A., Realini, C. E., Portanguen, S., Kowalski, R., Clerjon, S., & Debrauwer, L. 2014. Towards models for the prediction of beef meat quality during cooking. *Meat Science*, 97(3), 323-331.
- Leyva-García, I. A., Figueroa-Saavedra, F., Sanchez-Lopez, E., Pérez-Linares, C., & Barreras-Serrano, A. 2012. Impacto económico de la presencia de carne DFD en una planta de sacrificio Tipo Inspección Federal (TIF). *Arch. med. Vet.*, 448(1), 39-42.
- Morón-Fuenmayor, O. E., & García, L. Z. 2004. Pérdida por goteo en carne cruda de diferentes tipos de animales. *Revista Científica*, 14(1), 1-7.
- Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., & Barreras-Serrano, A. 2008. Factores de manejo asociados a carne DFD en bovinos en clima desértico. *Archivos de Zootecnia*, 57(220), 545-547.
- Pérez-Linares, C., Sánchez-López, E., Ríos-Rincón, F. G., Olivas-Valdéz, J. A., Figueroa-Saavedra, F., & Barreras-Serrano, A. 2013. Factores de manejo pre y post sacrificio asociados a la presencia de carne DFD en ganado bovino durante la época cálida. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(2), 149-160.
- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Platas-Rosado, D. E., Ruiz-Rosado, O., González-Muñoz, S. S., & Juárez-Lagunes, F. 2009. Estructura de comercialización de bovinos destinados al abasto de carne en la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Economía, sociedad y territorio*, 9(31), 831-854.



IDENTIFICACIÓN DE DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS RELEVANTES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE 13 ACCESIONES DE *Clitoria ternatea* L.

IDENTIFICATION OF MORPHOLOGICAL DESCRIPTORS FOR THE CHARACTERIZATION OF 13 ACCESSIONS OF *Clitoria ternatea* L.

¹Enríquez Quiroz JF, ²Pérez-Amaro JA, ³Joaquín-Torres BM, ⁴Peña-Avelino LY

¹ Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIR-Golfo) del INIFAP C. E. “La Posta”, Paso del Toro, Veracruz, México; ² Centro de Investigación Regional Pacífico Sur (CIRPAS) del INIFAP C. E. Centro, Ocozocoautla, Chiapas, México; ³ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, México; ⁴Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.
Autor para correspondencia: amaro.jap@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue comprobar la aplicabilidad de la técnica de análisis de componentes principales (ACP), para predecir la adaptación de *Clitoria ternatea* L. (CT), a entornos cada vez más desafiantes a partir de rasgos morfológicos. Con este fin, en el campo experimental “La Posta” del INIFAP, se estudió la variabilidad morfológica entre 13 ecotipos diferentes de CT, y se evaluaron durante la época de lluvias diferentes descriptores morfológicos. Además, se realizó un ACP, utilizando los datos numéricos originales de caracteres cuantitativos. El ACP, extrajo cinco componentes que contribuyen a alrededor del 82% de la variabilidad total. Los dos componentes más confiables están altamente correlacionados con una serie de características morfológicas como el diámetro basal del tallo, el ancho de semillas, la longitud del tallo, vaina, semilla, y hojas. El gráfico 1 “Biplot” PC1 vs. PC2 revela grupos de genotipos adecuados para programas de mejoramiento específicos. Los Ecotipos 11000D y 7261D, tienen un mayor potencial biológico para un establecimiento rápido, y uniforme en condiciones incluso desfavorables de clima. También fue posible detectar genotipos que combinan un mayor potencial de rendimiento de semilla con un mayor número de vainas por tallo. El ACP, permitió establecer patrones de comportamiento productivo similares para los ecotipos 9434, 14542D, 9291D, y 13169D. Estos materiales en particular, producen un mayor número de vainas por tallo, con muchas semillas. Una cantidad mayor de semillas por fruto podría implicar mayor producción de semilla por unidad de superficie. En conclusión, el ACP permite describir un conjunto de descriptores morfológicos en función de nuevas variables llamadas “componentes”. La descomposición lineal de variables correlacionadas, indica que el rendimiento, el número de semillas por vaina y el diámetro del tallo pueden recomendarse como descriptores morfológicos para la selección y adaptación de ecotipos de CT frente al cambio climático.

Palabras clave: Banco de Germoplasma, caracterización fenotípica.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, el cambio climático en conjunto con el crecimiento acelerado de la población humana está ejerciendo una enorme presión sobre los ecosistemas del planeta. Esta crisis ambiental en muchos de los casos (McMichael *et al.*, 2007; Dunlap y Jorgenson, 2012), está ligada a la contaminación, la deforestación, los desastres naturales por eventos extremos, etc. El impacto de la actividad humana y los sistemas de producción pecuarios han alcanzado proporciones nunca antes vistas sobre el agotamiento de los recursos naturales como el suelo (López-Báez *et al.*, 2019), y la pérdida de la biodiversidad (Ceballos *et al.*, 2015). En este entorno cambiante, el estudio sistemático de los recursos fitogenéticos, y como se adaptan a cambios en el ambiente son las materias primas básicas más valiosas y esenciales para programas de mejoramiento de cultivos forrajeros en nuestro país.

La relación entre los impactos del cambio climático y la forma en que los genes de las plantas responden a tales cambios es esencial para la conservación de la naturaleza, así como para las comunidades y los medios de vida (William *et al.*, 2013). México es un país privilegiado en este sentido, ya que posee una



gran diversidad de ecosistemas, con climas secos en el norte del país, hasta los tropicales (Rzedowski, 2006), y este tipo de ambientes han permitido el desarrollo de combinaciones particulares de genes que confieren, a las plantas forrajeras de uso múltiple, la adaptación a esos ambientes extremos. Una leguminosa forrajera de uso múltiple muy bien adaptada a condiciones extremas, como la sequía, cambios en temperaturas y salinidad (López-Sánchez *et al.*, 2011), es la conchita azul (*Clitoria ternatea* L.). La clitoria, también conocida como campanilla, o tehuana, se utiliza para mejorar la calidad de la dieta del ganado en pastoreo, para mejorar la fertilidad del suelo, sus propiedades insecticidas (Kelemu *et al.*, 2004), o por sus propiedades medicinales. En comunidades rurales, se utiliza para aliviar dolores estomacales y diarrea debido a sus propiedades antimicrobianas. También están documentadas sus propiedades antioxidantes, anticancerígenas, nootrópicas, y cicatrizantes (Mahesh-More y Ramesh-Hake, 2019). La clitoria se cultiva a lo largo de todas las estaciones del año, en diferentes entornos y en condiciones de suelo en Asia, África, América y Australia. La mayoría de los ecotipos de conchita azul prosperan a temperaturas entre 30° C y 40° C, produce una gran cantidad de forraje de elevada digestibilidad, aunque sus tallos presentan baja palatabilidad, sus hojas y semillas son ricos en aminoácidos, micro minerales, fibra soluble y vitamina K. La productividad y adaptabilidad de esta planta a sistemas de producción de carne y leche bovina es indudable; sin embargo, a menudo se ven afectadas negativamente por el anegamiento, y una elevada selección de pastoreo tiende a eliminar esta planta a medida que avanza el tiempo (Ramírez-Reynoso *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2004; Jiménez-Guillén *et al.*, 2013).

En años recientes, el estudio de esta leguminosa forrajera ha ganado mucha importancia debido a sus aplicaciones potenciales tanto en la medicina veterinaria como en el sector agropecuario (García-Ferrer *et al.*, 2015), y como fuente de colorantes naturales antioxidantes (Bravo, 1971 ab). Sin embargo, existen muy pocos estudios relacionados con rasgos agro morfológicos de los diferentes ecotipos existentes para la agrupación de poblaciones (Yeotkar-Swati *et al.*, 2011; Naik *et al.*, 2019). Uno de los enfoques disponibles para este fin es el análisis multivariado, y en particular el análisis de componentes principales (ACP). Por lo que el presente estudio, tuvo por objetivo validar esta técnica para descubrir similitudes entre descriptores morfológicos de diferentes ecotipos de clitoria, y encontrar los más relevantes para clasificar de forma rápida a nivel de campo, la variación inherente entre los diferentes genotipos de una colección disponible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el CE “La Posta” del INIFAP, ubicado en Paso del Toro, Veracruz, y se localiza a 19° 02´ de latitud Norte y 96° 08´ de longitud Oeste, a una altitud de 16 m s.n.m. El clima del lugar según la clasificación climática de Köppen modificada por García (1981), es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw1), presenta una precipitación de 1337 mm, y 25.4°C de temperatura promedio. Los ecotipos de *Clitoria ternatea*, que se incluyeron en la presente evaluación pertenecen a la colección del Banco de Germoplasma del ILRI (“International Livestock Research Institute”), ubicado en Addis Ababa, Etiopía (Cuadro 1).

Cuadro 1. Lista de ecotipos utilizados en la presente caracterización morfológica.

<u>Número</u>	<u>Nombre</u>	<u>Número</u>	<u>Nombre</u>	<u>Número</u>	<u>Nombre</u>
1	13169D	6	14542D	11	15435 D
2	7261D	7	9298D	12	6767 D
3	11000D	8	9294D	13	13280 D
4	9432	9	9291D		
5	9434	10	14543 D		

Las semillas de los diversos materiales se germinaron en charolas de poli-estireno y posteriormente se trasplantaron a bolsas de vivero. La densidad de siembra fue de 1 m entre plantas y 2 m entre parcelas. La caracterización morfológica, se realizó mediante el muestreo al azar de tres tallos por cada planta. En total, se realizaron las medidas de los descriptores morfológicos que se mencionan en el Cuadro 2.



Cuadro 2. Descriptores utilizados para la caracterización morfológica de los materiales de conchita azul.

Acrónimo	Descriptor	Acrónimo	Descriptor
LT	Longitud del tallo	AH	Ancho de la hoja
TP	Tallos por planta	LH	Longitud de la hoja
DBT	Diámetro basal del tallo	FH	Foliolos por hoja
VT	Vainas por tallo	SV	Semillas por vaina
LV	Longitud de la vaina	LS	Longitud de semillas
AV	Ancho de la vaina	AS	Ancho de semillas

En el transcurso del desarrollo del cultivo se siguieron las prácticas culturales normales de fertilización, y control de malezas. Se midieron doce caracteres cuantitativos de acuerdo con los métodos de los descriptores morfológicos. Las variables consideradas en el análisis descriptivo y multivariados fueron morfológicas, fenológicas y características de la semilla. Las observaciones registradas en 12 rasgos se analizaron estadísticamente en R para agrupar los genotipos en función de la similitud, se utilizó el ACP para reducir las dimensiones de los datos multivariados a unos pocos ejes principales, y se generó un vector para cada eje con los puntajes de componentes para los caracteres bajo estudio. En donde, los vectores y valores de una matriz de covarianza (o correlación) representan el "núcleo" del ACP: los vectores (componentes principales) determinan las direcciones de características morfológicas y su magnitud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medidas descriptivas estadísticas de primer orden, máximo, mínimo, media, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) para los rasgos medidos se presentan en el Cuadro 3. La mayor variación se observó para longitud de semillas con un CV de 89.06% seguido por el ancho de hoja (CV = 77.34), ancho de semilla (50.46), diámetro basal del tallo (42.03), vainas por tallo (36.55), y foliolos por hoja mostró la menor variación con el CV del 2.4%. De acuerdo con los valores máximo y mínimo mostrados en el Cuadro 3, se puede inferir la presencia de materiales con frutos cortos y largos, anchos y angostos, con muchas o pocas semillas por vaina, y con diferente vigor en los materiales evaluados. Los coeficientes de correlación para las variables estudiadas se presentan en el Cuadro 4, en donde se indica el tipo de asociación negativa (-, color rojo) si la relación es inversa y positivo (+, color azul) si es directa. Por ejemplo, las variables LH y AV, se correlacionan en sentido inverso, y mostraron correlación negativa (-0.712). La longitud de vainas en los ecotipos de clitoria fluctúa aproximadamente entre 8 y 10.5 cm, con vainas cortas para 13169D. En el caso de los cultivares del tipo 9298D y 9291D presentan las vainas más largas, y el material vegetal que presenta las vainas más anchas es el 6767D.

En general, las plantas de los ecotipos evaluados pueden producir entre 2 y 12 vainas, dependiendo fundamentalmente de la densidad de población, de la fecha de siembra y de la calidad del suelo. Los cultivares de la variedad 14542D logran en promedio un 20 a 30% más de vainas por planta que el resto. Las variables LS y DBT presentan una correlación de 0.789, a valores altos de una de ellas le suelen corresponder valores altos de la otra y viceversa, lo que coincide con la información presentada por Naik *et al.* (2019).

El número de semillas por vaina varía considerablemente en todos los cultivares, y es el ecotipo 9291D el que destaca seguido por el 9294D, y 13169D respectivamente. Así, los materiales antes mencionados logran producir hasta 11 semillas por vaina, el material que menos semillas produce es el 9298D con 8 semillas en promedio. El vigor de tallos (DBT) y hojas (LH) presentan valores de correlación positivos (0.436 y 0.524), en donde materiales de clitoria mas frondosos tienden a producir semilla de mayor tamaño. En los cultivares que producen semillas más grandes, se obtiene un promedio de ocho a diez semillas por vaina (11000D y 7261D). La amplia variabilidad en las características de las semillas, es



un indicador que muestra el potencial de mejoramiento genético en el material evaluado, y podría ser útil en los procesos de la selección para dichas características. Aunque en las especies cultivadas de conchita azul con frecuencia pueden expresar diferentes grados de variabilidad como son el tipo, la forma y el color de la flor, en su gran mayoría los caracteres evaluados, tienen una alta heredabilidad (Bravo, 1971a).

Cuadro 3. Estadística descriptiva de los rasgos cuantitativos estudiados en Conchita azul.

Descriptor ¹	Promedio	Mínimo	Máximo	$\sigma (X)$	CV, (%)
LT	75.61	48.66	103.33	17.4	23.01
TP	1.35	1	2	0.32	24.12
DBT	0.31	0.2	1.03	0.13	42.03
VT	9.33	0	14.3	3.33	36.55
LV	9.46	6.86	12.13	1.05	11.07
AV	0.91	0.6	1.5	0.22	24.37
AH	2.11	0.9	9.23	1.63	77.34
LH	7.51	1.66	11.1	2.7	36
FH	5	4.66	5.33	0.12	2.4
SV	9	5.3	13.3	1.84	18.9
LS	0.7	0.26	4.23	0.62	89.06
AS	0.39	0.13	0.9	0.19	50.46

¹ Longitud del tallo, cm (LT), Tallos por planta, No. (TP), Diámetro basal del tallo, cm (DBT), Vainas por tallo, No. (VT), Longitud de la vaina, cm (LV), Ancho de la vaina, cm (AV), Ancho de la hoja, cm (AH), Longitud de la hoja, cm (LH), Foliolos por hoja, No. (FH), Semillas por vaina, No. (SV), Longitud de semillas, cm (LS), Ancho de semillas, cm (AS). $\sigma (X)$ = desviación estándar. CV = coeficiente de variación.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre los 12 rasgos medidos de los 13 ecotipos de *Clitoria* bajo estudio.

Descriptor ¹	LT	TP	DBT	VT	LV	AV	AH	LH	FH	SV	LS
LT	-----										
TP	0.166	-----									
DBT	-0.002	-0.058	-----								
VT	-0.386	-0.514	0.268	-----							
LV	0.258	0.253	0.254	-0.544	-----						
AV	-0.129	0.151	-0.342	-0.071	-0.159	-----					
AH	0.014	0.340	-0.063	0.021	0.170	-0.315	-----				
LH	0.200	0.088	0.447	0.135	0.280	-0.712	0.166	-----			
FH	0.389	-0.272	0.166	0.226	-0.167	-0.397	-0.047	0.130	-----		
SV	-0.430	-0.457	0.405	0.516	-0.095	-0.530	0.046	0.189	0.321	-----	
LS	0.015	0.089	0.789	-0.101	0.365	-0.229	-0.189	0.261	-0.011	0.167	-----
AS	0.206	-0.115	0.436	0.112	0.260	-0.348	-0.201	0.524	0.051	-0.016	0.576

¹La magnitud en color azul o rojo indica el grado de correlación entre las variables. Si el valor es próximo a 1 están estrechamente correlacionadas; por el contrario, un valor próximo a 0 debe ser interpretado con reserva ya que puede indicar independencia entre las variables o una relación no lineal. Longitud del tallo, cm (LT), Tallos por planta, No. (TP), Diámetro basal del tallo, cm (DBT), Vainas por tallo, No. (VT), Longitud de la vaina, cm (LV), Ancho de la vaina, cm (AV), Ancho de la hoja, cm (AH), Longitud de la hoja, cm (LH), Foliolos por hoja, No. (FH), Semillas por vaina, No. (SV), Longitud de semillas, cm (LS), Ancho de semillas, cm (AS).



Los resultados de la caracterización de los diferentes coinciden con lo reportado por Yeotkar-Swati *et al.* (2011), para los ecotipos de clitoria similares a los que se presentan en el Cuadro 5. El ACP, extrajo cinco componentes que en su conjunto acumulan una gran variabilidad en total. El análisis de componentes principales, muestra una varianza acumulada de 88.9% por los primeros cinco ejes con valor Eigen de > 1.0 . En este mismo cuadro se pueden identificar los rasgos característicos que exhibieron una mayor influencia en donde se destacan para el caso de clitoria LT, DBT, LV, SV, LS, AS, TP, y LH.

Cuadro 5. Análisis de componentes principales de los descriptores cuantitativos analizados.

Componente	Varianza	Proporción de varianza explicada %	Cálculo de la varianza explicada acumulada
CP 1	3.300	0.275	0.275
CP 2	2.609	0.217	0.492
CP 3	1.621	0.135	0.627
CP 4	1.441	0.120	0.748
CP 5	0.889	0.074	0.822
CP 6	0.763	0.064	0.885
CP 7	0.512	0.043	0.928
CP 8	0.380	0.032	0.960
CP 9	0.269	0.022	0.982
CP 10	0.150	0.012	0.994
CP 11	0.054	0.004	0.999
CP 12	0.013	0.001	1.000

En la Figura 1, se muestran cómo se distribuyen las accesiones, cuáles se parecen y cuáles son diferentes a otras. Por ejemplo, en el gráfico tipo "Biplot" PC1 vs. PC2, se revelan algunos grupos de genotipos adecuados para programas de mejoramiento específicos, en donde los ecotipos 11000D y 7261D se comportan de manera similar en cuanto al vigor del follaje y tamaño de la semilla. El ángulo entre los vectores representados en color verde son una aproximación de la correlación entre las variables número de semillas y de vainas en donde se destacan los ecotipos 9434, 14542D, 9291D, y 13169D. En donde, un ángulo pequeño indica que las variables están correlacionadas de forma positiva, un ángulo de 90 grados indica que las variables no están correlacionadas (ecotipo con potencial forrajero, 9298D), y un ángulo cercano a 180 grados indica que las variables están correlacionadas de forma negativa en donde los ecotipos 9432, 15435D y 6767D presentan las hojas más pequeñas de toda la colección. La longitud de la línea, y su proximidad al círculo indican qué tan bien está representada la variable en la gráfica. Por lo tanto, se eliminaron del análisis todos aquellos ecotipos mal representados, ya que no es adecuado hacer inferencias sobre relaciones que involucran variables de este tipo (Franco e Hidalgo, 2003).



CONCLUSIONES

Fue posible encontrar diferencias significativas entre los diferentes ecotipos estudiados y para la mayoría de los descriptores evaluados, mostrando una gran variabilidad morfológica. El ACP es una herramienta útil para caracterizar y evaluar de forma rápida, materiales de germoplasma con fines de mejoramiento genético en colecciones, con fines de conservación y/o identificación de nuevo germoplasma de élite para producir materiales agrónomicamente superiores con una amplia base genética. En el caso de la conchita azul, la técnica multivariada de ACP permite conocer de manera gráfica la semejanza entre grupos de ecotipos que muestran comportamiento similar.

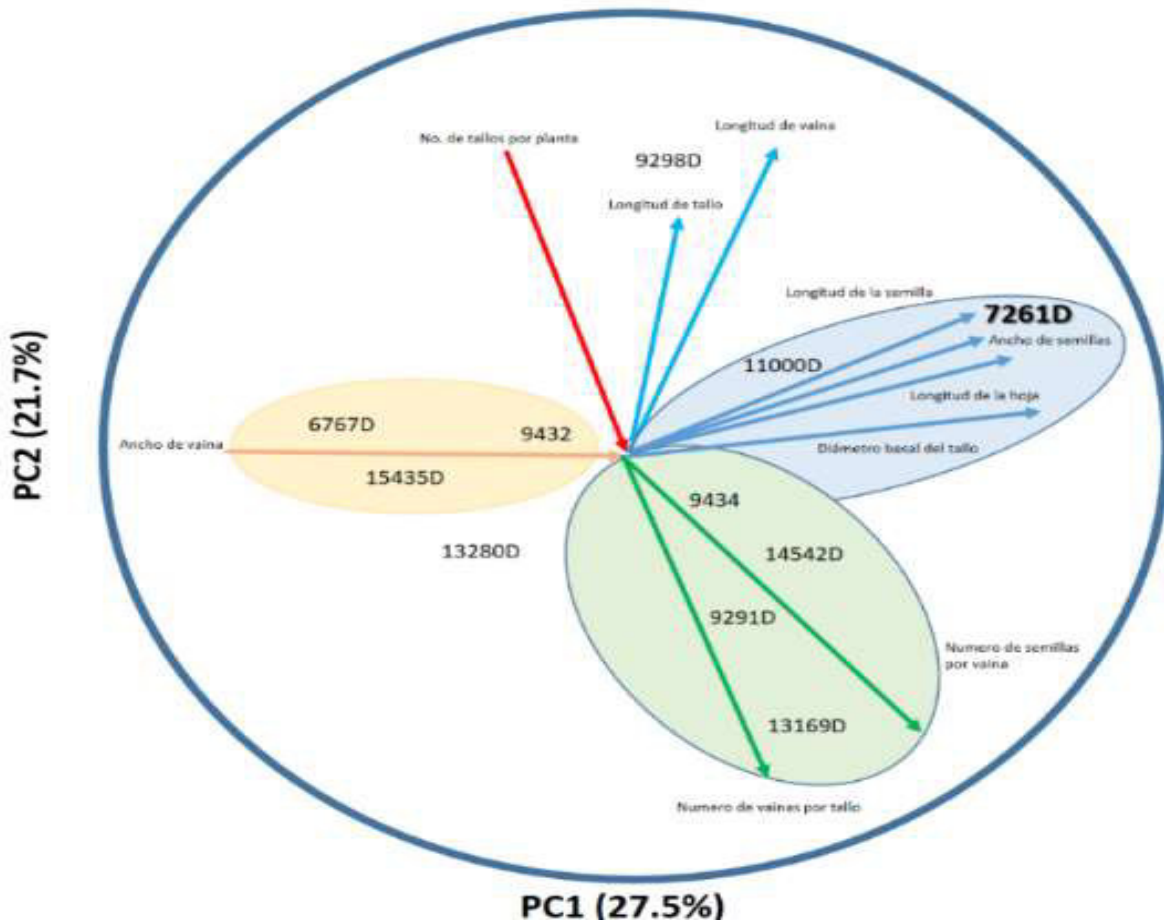


Figura 1. Correlación bidimensional de los coeficientes calculados para los dos primeros componentes principales (Plano factorial de los ecotipos de clitoria).

LITERATURA CITADA:

- Bravo, F.O. 1971a. Efecto de la suplementación de dietas a base de semilla de *Clitoria ternata* L. cruda o cocida con metionina y fenilalanina para la rata en crecimiento. Revista Técnica Pecuaria en México. 17: 7-12.
- Bravo, F.O. 1971b. Estudios sobre la composición química de la semilla de *Clitoria ternata* Linn. Revista Técnica Pecuaria en México. 18: 100-102.



- Ceballos, G., Ehrlich, P.R., Barnosky, A.D., García, A., Pringle, R.M., y Palmer, T.M. 2015. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Sci. Adv.* 1:1–5. doi: 10.1126/sciadv.1400253.
- Dunlap R.E., Jorgenson A.K. 2012. Environmental problems. *In*. The Wiley-Blackwell Encyclopedia of Globalization. Blackwell Publishing Ltd.; Hoboken, NJ, USA.
- Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Offset Larios. México. 246 p.
- García-Ferrer, L., Bolaños-Aguilar, E.D., Ramos-Juárez, J., Osorio-Arce, M., y Lagunes-Espinoza, L.C. 2015. Rendimiento y valor nutritivo de leguminosas forrajeras en dos épocas del año y cuatro edades de rebrote. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 6(4): 453-468.
- Jiménez-Guillén, R., Quero-Carrillo, A.R., Pérez-Pérez, J., Martínez-Hernández, P.A., Hernández-Garay, A., Tovar-Salinas, J.L., Hidalgo-Moreno, C.I. y Rojas-Hernández, S. 2013. Composición de la biomasa en una asociación de pasto señal con clitoria pastoreada a diferentes asignaciones de forraje. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 4 (2):185-199.
- Kelemu, S., Cardona, C., Segura, G. 2004. Antimicrobial and insecticidal protein isolated from seeds of *Clitoria ternatea*, a tropical forage legume. *Plant Physio. Biochem.* 42(11): 867-873.
- López-Báez, W., Reynoso, S.R., López, M.J., Sánchez, B.V., Camas, G.R., y García, S.J.O. 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villa flores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 10(4): 897-910.
- López-Sánchez, R.C., Samson, R., Vandamme, P., Eichler-Löbermann, B., Gómez-Padilla, E. 2011. Respuesta de combinaciones *Rhizobium - Clitoria ternatea* en condiciones de estrés salino en el valle del cauto en cuba. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 2 (2):199-207.
- Mahesh-More, P., y Ramesh-Hake, K. 2019. Medicinal importance of *Clitoria ternatea*. *International Journal of Applied Research.* 5(11): 222-225.
- McMichael, A.J., Powles, J.W., Butler, C.D., y Uauy, R. 2007. Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet.* 370:1253–1263. doi: 10.1016/S0140-6736(07)61256-2.
- Naik, A., Patel, A.K., Mishra, S.K., Nag, A., y Panigrahi. J. 2019. Characterization of intraspecific hybrid in *Clitoria ternatea* (L.) using morphophysiological, cytogenetic, metabolic and molecular markers. *Caryologia* 72(3): 11-22. doi: 10.13128/caryologia-754.
- Ramírez-Reynoso, O., Pérez-Pérez, J., Hernández-Garay, A., Herrera-Haro, J. G. Martínez-Hernández, P.A. 2003. Evaluación del rendimiento y la utilización de la asociación estrella-clitoria cosechada a diferente asignación de forraje. *Revista Técnica Pecuaria en México.* 41 (2): 219-230.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1a. ed. Digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 pp.
- Villanueva, A.J.F., Bonilla, C.J.A., Rubio, C.J.V, y Bustamante, G.J.J. 2004. Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. *Revista Técnica Pecuaria en México.* 42 (1):79-96.
- Yeotkar-Swati, D., Malode, S.N., Waghmare, V.N. y Thakre, P. 2011. Genetic relationship and diversity analysis of *Clitoria ternatea* variants and *Clitoria biflora* using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. *African Journal of Biotechnology.* 10 (79):18065-18070. Available *online* at <http://www.academicjournals.org/AJB> DOI: 10.5897/AJB11.1423 ISSN 1684–5315 © 2011 Academic Journals.
- William, F., Jeffrey-Sayer, L., y Cassman, K. 2013. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. («La expansión agrícola y sus impactos en la naturaleza tropical») *Trends in Ecology & Evolution* Dec 30. pii: S0169-5347(13)00292-9. doi: 10.1016/j.tree.2013.12.001.



EFFECTO DE USO DE UNA GRASA PROTEGIDA EN LA DIETA DE OVINOS DE ENGORDA SOBRE LAS VARIABLES PRODUCTIVAS

EFFECT OF USING A PROTECTED FAT IN THE DIET OF FATTENING SHEEP ON THE PRODUCTIVE VARIABLES

^{1*} Vallejo Gutiérrez ML, ²Granados Rivera L.D, ¹Salinas Chavira J, ¹ Infante Rodríguez F, ¹Ruiz Albarrán M, Loredo Osti J, ¹Bautista Martínez Y.

¹Universidad Autónoma De Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Cd. Victoria - Cd. Mante Km. 5, Ej. Santa Librada. Ciudad Victoria, Tamaulipas,

² Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria, General Terán, Km. 31 Carretera Montemorelos-China Exhacienda Las Anacuas, C.P. 67400

Autor para correspondencia: ybautista@docentes.uat.edu.mx

RESUMEN

En México es necesario mejorar las variables productivas del sistema de producción de ovinos de carne, mediante estrategias de alimentación que mejoren las variables productivas, debido a esto, el objetivo del presente estudio fue; evaluar la adición de ácido palmítico protegido a diferentes dosis, en la dietas de ovinos machos para carne manejados en el sistema de estabulado durante el periodo de finalización sobre las variables productivas, para esto se utilizaron 21 ovinos machos cruzas de la raza Dorper y Pelibuey, los cuales se dividieron en tres tratamientos con 7 animales cada uno, el tratamiento 1; se alimentaron con una dieta integral, el tratamiento 2; se le ofreció la dieta integral + 100 gramos de ácido palmítico protegido durante los últimos 30 días de la engorda y el tratamiento 3; se le ofreció la dieta integral + 200 gramos de ácido palmítico protegido en la dieta durante los últimos 30 días de la engorda. Las variables evaluadas fueron; ganancia diaria de peso, conversión y eficiencia alimenticia, con un análisis completamente al azar utilizando como covariable el peso inicial de los corderos. Los resultados muestran que el tratamiento al que se le adicionó 100 g de ácido palmítico a la dieta integral, obtuvieron la mayor ganancia diaria de peso respecto al tratamiento con 200 g de ácido palmítico y el testigo, con diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). La mejor conversión y eficiencia alimenticia la mostró el tratamiento al que se le adicionó 100 g de ácido palmítico a la dieta integral, con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos ($P < 0.05$). La adición del ácido palmítico en la dieta de ovinos productores de carne, es una alternativa para mejorar las variables productivas de los sistemas de producción bajo el sistema estabulado.

Palabras clave: *ácido palmítico, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, eficiencia alimenticia.*

INTRODUCCION

Como resultado de la búsqueda de estrategias que permitan satisfacer la demanda nacional de carne ovina, y con esto minimizar la frecuencia de importaciones de carne provenientes de países como Estados Unidos, China y Nueva Zelanda, la ovinocultura en México ha optado por el uso de los sistemas de producción de tipo intensivo o mixto en lugar del sistema extensivo, elegido de manera tradicional. En este sentido, se han implementado nuevas tecnologías de alimentación, como la incorporación de diferentes fuentes de energía en las dietas ofrecidas, desde el destete hasta la finalización, con el objetivo de que los ovinos expresen su potencial genético y con esto lograr incrementar la velocidad de crecimiento y reducir el tiempo de finalización. Debido a que la energía es la uno de los aportes de los nutrientes que mayor influencia tiene en las variables productivas tales como ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia, se ha justificado el uso de la grasa como fuente de energía en la alimentación ovina y esto ha llevado a la generación de trabajos de investigación que plantean el uso de diferentes fuentes lipídicas como opción energética; sin embargo, no existen antecedentes sobre el uso de ácidos grasos saturados protegidos en rumen en la alimentación de ovinos productores de carne y su efecto sobre sus variables productivas, lo que involucra el uso específicamente del ácido palmítico



protegido en rumen. El ácido palmítico es un ácido graso saturado de 16 carbonos, que se puede incorporar en la dieta de manera encapsulada, por lo que no sufre modificaciones en el rumen, pasa directamente al duodeno y por la acción de la lipasa pancreática es hidrolizado en los tramos iniciales del intestino delgado, logrando de esta forma, ser una fuente directa de energía para el animal. Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del ácido palmítico en las dietas de ovinos finalizados sobre las variables productivas y los resultados obtenidos a través de este primer estudio permitirán desarrollar futuras investigaciones con un panorama más amplio acerca del efecto del ácido palmítico en la alimentación ovina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de área de estudio

El estudio se realizó en el área de ovinos de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia “Dr. Norberto Treviño Zapata” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ubicada en el km 5 carretera Mante, Ciudad Victoria, Tamaulipas, a una altitud de 327 msnm con un clima semi seco con lluvias en verano BS₁ (h¹) hw, temperatura media anual comprendida entre 21°C y 30°C., precipitación media mensual de 62.25 mm, en las coordenadas 23°44'06" N; 99°07'51" O (CNA, 2018).

Instalaciones y equipo

Los ovinos fueron colocados en corrales individuales, con una superficie de 0.75 m². Se emplearon comederos y bebederos individuales de plástico de 0.40 m de ancho y 0.20 m de profundidad con agua limpia las 24 horas del día, situados a una altura de 0.35 m con respecto al piso (UNO, 2020).

Animales y tratamientos

Se utilizaron 21 ovinos machos cruzas de la raza Dorper y Pelibuey, recién destetados, con una edad promedio de 3 meses y un peso de 14 kg, los cuales se dividieron en tres tratamientos de 7 animales, el tratamiento 1; se alimentaron con una dieta testigo durante tres meses (agosto a octubre 2020), el tratamiento 2; se le ofreció la dieta + 100 gramos de ácido palmítico protegido (Jefo Dairy Fat) durante los últimos 30 días de la engorda y el tratamiento 3; se le ofreció la dieta + 200 gramos de ácido palmítico protegido (Jefo Dairy Fat) en la dieta durante los últimos 30 días de la engorda.

El experimento tuvo una duración de 90 días; al inicio de la engorda durante los primeros 60 días se ofreció la misma dieta a los tres grupos experimentales; al tratamiento 2 y 3 los días 51 al 53 del experimento se ofreció 30 gramos de ácido palmítico en la dieta, durante los días 54 al 56 se incrementó a 60 gramos de ácido palmítico en la dieta, posteriormente los días 57 al 59 se aumentaron a 90 gramos de ácido palmítico, con el objetivo que los animales se familiaricen con el sabor y olor del producto y así evitar el rechazo del producto cuando se comenzara a dar en total del ácido palmítico en el comedero. A partir del día 60 del experimento, a los tratamientos 2 y 3 se les adicionó 100 y 200 g de ácido palmítico en la dieta, respectivamente.

Manejo alimenticio

La dieta que se ofreció a los tres grupos experimentales se formuló en base a los requerimientos nutricionales de las tablas del NRC edición 2007, utilizando el programa de cómputo para formular raciones Users Feed Formulation, Done Again (UFFDA).

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

Ingrediente (% de la MS)	Testigo	100 g de AP ¹	200 g AP ²
Sorgo	73.7	73.7	73.7
Soya	14.4	14.4	14.4
Premezcla mineral*	2.1	2.1	2.1
Melaza	4	4	4
Manteca	0.5	---	---
Pastura	5	5.4	5.3
Urea	0.3	0.3	0.3
Ácido palmítico	---	0.1	0.2
Composición química (base seca)			



Materia seca (%)	86.9	87.1	87.3
Proteína (%)	16.5	16.4	16.4
FDN (%)	42.1	41.9	42.0
FDA (%)	11.87	11.85	11.83
Cenizas (%)	5.9	5.7	5.7
ENg Mcal/kg	1.4	1.2	1.6

*Premezcla de macro y micro minerales para corderos en engorda (Ovitec 302 F @Tenusa Thrown; Monterrey, NL, México). Contiene: Ca, 18%; P, 0.0%; Sal, 18.0%; Azufre, 0.50%; Potasio, 0.56%; Magnesio, 0.08%; Zn, 50 g; Cu, 0.0 g; Fe, 20 g; I, 0.5 g; Co, 90 mg; Mn, 36 g; Se, 90 mg; Vit. A, 3000000 UI/Kg; Vit. D3, 750000 UI/Kg; Vit. E, 25000 UI/Kg; Buffers, 24%; Oxitetraciclina 16 g; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; ENg = Energía Neta de ganancia de peso; ¹ 100 g de ácido palmítico; ² 200g de ácido palmítico.

Manejo Sanitario

Al comienzo del experimento, se implementó un programa de medicina preventiva basada en la bacterinización y desparasitación interna de los animales. Para bacterinizar se aplicó 2.5 ml vía intramuscular del producto BOBACT 8, que es una bacterina-toxoide empleada para la prevención de pasteurelisis neumónica (fiebre de embarque), carbón sintomático (pierna negra), edema maligno, gangrena gaseosa, hepatitis necrótica infecciosa, riñón pulposo y enterotoxemia; para la desparasitación interna se aplicó vía intramuscular 6mg/kg de L-Vermizol, antihelmíntico de amplio espectro complementado con vitaminas del complejo B.

Consumo diario de alimento (CDA)

Se ofertó diariamente el 4 % del peso vivo de los animales de alimento, dividido en dos raciones, una las 7:30 am y otra a las 3:00 pm. Para determinar la cantidad de alimento a ofrecer se pesó cada 8 días a los animales. El alimento ofrecido se pesó y cada 24 horas se midió el rechazo con una balanza digital portátil de 5100 g de capacidad (OHAUS COMPASS™); el CDA se obtuvo por la diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado. El ácido palmítico empleado tiene la ventaja de estar en forma de micro esferas sólidas, que lo hacen un componente no pegajoso en superficies y para asegurar su ingesta total, se dio el ácido directo en el comedero previo a dar el alimento. Además que la cantidad total fue dividida en dos dosis, una para la mañana y otra para la tarde.

Ganancia diaria de peso (GDP)

Se pesaron los corderos individualmente por la mañana (antes de ofrecer el alimento) al inicio de la fase experimental y posteriormente cada ocho días, hasta el final de la engorda. La GDP se obtuvo por diferencia de peso vivo final menos el peso vivo inicial entre el número de días transcurridos entre las dos pesadas.

Conversión alimenticia (CA)

Se obtuvo dividiendo el consumo total del alimento entre la ganancia total de peso de cada animal por tratamiento.

Eficiencia alimenticia (EA)

Se obtuvo dividiendo la ganancia total de peso entre el consumo total del alimento de cada animal por tratamiento

Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos de la prueba de crecimiento incluyeron las mediciones de ganancia diaria de peso, conversión y eficiencia alimenticia de 21 corderos con un peso vivo inicial a la prueba de 14 kilogramos, los cuales fueron distribuidos en tres tratamientos con siete repeticiones por tratamiento en un diseño completamente al azar, considerando como covariable el peso de los corderos al inicio del experimento. Se usó el procedimiento GLM de SAS versión 9.3, para obtener las medias de mínimos cuadrados y fueron comparadas usando la prueba de Tukey ajustada. El análisis de varianza se realizó usando un modelo de un solo criterio de clasificación.

Modelo estadístico asociado al diseño



$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta(X_{ij} - X_{i..}) + \xi_{ij} \quad i=1, \dots, 3; j=1, \dots, 7$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable respuesta (GDP, CA, EA); μ = Media general; τ_i = Efecto de la adición del nivel i-ésimo del ácido palmítico a la dieta (i=1,2,3); β = Coeficiente de regresión; $(X_{ij} - X_{i..})$ = Covariables (peso inicial); ξ_{ij} = Error aleatorio; $\xi_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el tratamiento al que se le adicionó 100 g de ácido palmítico a la dieta integral, tuvo la mayor ganancia diaria de peso respecto al tratamiento con 200 g de ácido palmítico y el testigo, con diferencias estadísticas significativas (Cuadro 1).

Cuadro 2. Variables productivas de ovinos alimentados en estabulado adicionando ácido palmítico a la dieta.

Variable	Dieta integral+100 g de ácido palmítico	Dieta integral+200 g de ácido palmítico	Dieta integral	P value
GDP	0.192 ^a	0.158 ^b	0.153 ^b	0.0421
CA	4.89 ^b	5.22 ^a	6.31 ^a	0.0290
EA	0.206 ^a	0.192 ^b	0.159 ^b	0.0471
Consumo	0.933 ^a	0.800 ^b	0.989 ^a	0.0351

GDP; Ganancia diaria de peso en kg; CA=Conversión alimenticia; EA=Eficiencia alimenticia; Consumo=Consumo de alimento (g día⁻¹); a,b,c, Medias con distintas letras son diferentes estadísticamente (P<0.05).

Respecto a la conversión alimenticia, se encontró que el tratamiento testigo (dieta integral), los corderos deben de consumir 6.31 kg de alimento para ganar un kilogramo de carne, sin mostrar diferencias (P>0.05) respecto al tratamiento que se le adicionó 200 g de ácido palmítico, ya que los animales de este tratamiento deben de consumir 5.22 kilogramos de alimento para producir 1 kilogramo de carne. La mejor conversión alimenticia la mostró el tratamiento al que se le adicionó 100 g de ácido palmítico a la dieta integral con diferencias significativas al resto de los tratamientos.

Por otra parte, el valor mayor de la eficiencia alimenticia correspondió al tratamiento al que se le adicionó 100 g de ácido palmítico, con el que los animales ganaron en promedio 206 g de peso por cada kilogramo de alimento consumido, mostrando diferencias significativas respecto al tratamiento al que se le adicionó 200 g de ácido palmítico y el tratamiento testigo, en los cuales los animales ganaron 192 g y 159 g de peso por cada kilogramo de alimento consumido respectivamente.

La ganancia diaria de peso obtenida en este estudio fue menor a la reportada por Bessa et al (2005) y Ramírez-Bribiesca et al (2021), quienes añadieron aceite de soya, cártamo y linaza con GDP de 0.221 a 0.250 kg, estas diferencias puede deberse a que el porcentaje de fibra detergente neutro (FDN) en la dieta de este estudio fue de 41.9 a 42.1 %, superiores a los 25.68 % y 29.39 % utilizados por dichos autores. Ramírez-Bribiesca et al (2021) mencionan que en corderos el nivel máximo de fibra detergente neutro que debe consumir es del 25% a 35%, con la finalidad de cubrir satisfactoriamente los requerimientos de energía y proteína de animales en una engorda intensiva, ya que una alta GDP en animales en confinamiento están asociadas con el consumo de materia seca, proteína, energía y fibra detergente neutro (Villanueva-Partida et al., 2019). Sin embargo, los animales que consumieron ácido palmítico en la dieta tuvieron una mayor ganancia de peso respecto al testigo, lo que puede explicarse a que el ácido palmítico incrementa la digestibilidad de la FDN, ya que las bacterias del género *Butyrivibrio* necesitan sintetizar ácido palmítico para utilizarlo como componente de su membrana y lo pueden obtener directamente del ácido palmítico adicionado en la dieta, de esta forma se ahorra energía y se aumenta la población bacteriana y como consecuencia se incrementa la digestibilidad de la FDN, ocasionando mayor producción de energía (por medio de los ácidos grasos volátiles y proteína



microbiana) que será utilizada por el cordero para aumentar la ganancia de peso; además, una mayor digestibilidad de la FDN conllevará también a un incremento del consumo de materia seca (González-Garrido, 2020).

Por otra parte, los animales que consumieron 200 g de ácido palmítico en la dieta integral, tuvieron una menor GDP respecto a los que se les adicionó 100 g de ácido palmítico; esto puede explicarse a que durante la engorda de los animales, hubo una alta incidencia de diarreas en el tratamiento de los animales donde se incluyeron 200 g de ácido palmítico en la dieta integral. Lo anterior, puede deberse a que el punto de fusión del ácido palmítico es de 62.9 (Wang et al., 2014), que lo hace un ácido graso ruminalmente inerte, pero complica su digestibilidad intestinal al volverlo insoluble en el líquido intestinal; la presencia de sustratos no digeridos en el intestino pueden ocasionar la fermentación de carbohidratos y los productos derivados de este proceso cambian el pH intestinal a alcalino, acentúan la mala absorción de los líquidos que se acumulan en la luz intestinal y propician el desarrollo de organismo oportunistas presentes en el intestino (como *Colis*, *Salmonellas* y *Clostridium*), ocasionando diarrea (Fuentes-Pérez, 1995).

Respecto a la conversión alimenticia, los valores promedio al utilizar de 100 y 200 gramos de ácido palmítico en dieta, son mayores al promedio de 4.06 kg de materia seca consumido por kg de peso ganado, reportado por Mendes et al., (2011) quienes utilizaron una grasa protegida a base de aceite de soya y calcio. Aunque la conversión alimenticia es mayor, la adición de ácido palmítico en la dieta de ovinos si mejora la conversión alimenticia respecto a los animales que no se les adiciona en su dieta, ya que los corderos requieren en promedio consumir de 1.09 a 1.42 kg menos de alimento, para ganar un kilogramo de peso comparado con animales que son alimentados sin fuentes de grasa adicionales, que tiene una CA de 6.31 resultado de este estudio y de 6.64 a 7.06 de acuerdo a lo reportado por (Hernández-Bautista et al., 2017), lo que ocasiona que se aumente el tiempo de engorda y un mayor gasto en la cantidad de alimento concentrado (Hernández-Bautista et al., 2017).

Por otra parte, los animales que consumieron 100 g de ácido palmítico en la dieta, tuvieron la mejor eficiencia alimenticia, respecto a los que consumieron 200 g y al tratamiento testigo, ya que por cada kilogramo de alimento que consumieron ganaron en promedio 206 g, mientras que los que no consumieron grasa adicional ganaron 159 g, que corresponde a 47 g menos de peso ganado por kilogramo de alimento consumido. La eficiencia alimenticia en este estudio, fue mayor a la reportada por Kott et al (2003), quien reporta valores de 0.148 g producidos de carne por cada kg de alimento consumido con la inclusión del 6 % de aceite de cártamo, y de 84 g adicionando 10 % de aceite de soya a la dieta integral. Las grasas protegidas mejoran la eficiencia alimenticia en los corderos respecto al adicionar grasas saturadas o insaturadas en la dieta, ya que los microorganismos no las utilizan ni modifican para los diversos procesos fisiológicos que se dan en el rumen.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, la adición del 100 gramos ácido palmítico en la dieta de ovinos de engorda en un sistema en estabulado, mejora la ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y eficiencia alimenticia respecto a los animales que se alimentan solo de la dieta integral. Adicionar 200 g de ácido palmítico en la dieta, no mejora las variables productivas.

LITERATURA CITADA

- Bessa R. J. B., Portugal P. V., Mendes I. A., Santos-Silva J. 2005. Efecto de la suplementación con lípidos sobre el rendimiento del crecimiento, la calidad de la canal y la carne y la composición de ácidos grasos de lípidos de corderos alimentados con alfalfa deshidratada o concentrado. *Ciencia de la producción ganadera*. 96: 185-194.
- Fuentes-Pérez O. 1995. Diarrea de los corderos, su etología, sintomatología, diagnóstico y tratamientos. *Mundo Ganadero*. 6, 9: 60-64.
- González-Garrido A. 2020. Empleo de ácidos grasos en vacas de leche, un nuevo paso hacia la alimentación de precisión. *Revista Vaca Pinta*. 18: 120-129.
- Hernández-Bautista, J., Salinas-Rios, T., Rodríguez-Magadán, H. M., Aquino-Cleto, A., Mariscal-Méndez, A., Ortiz Muñoz, I. Y. 2017. Características que determinan el sistema de producción ovina en el Estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 1: 38-47.



-
- Kott R. W., Hatfield P. G., Bergman J. W., Flynn C. R., Van Wagoner H., Boles J. A. 2003. Feedlot performance, carcass composition, and muscle and fat CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with safflower seeds. *Small Ruminant Research*. 49(1): 11-17.
- Mendes A. R., Previdelli M. A., Amorim A. C., Vargar F. M., De Mores A. B. 2011. Desempenho e características qualitativas da carcaça e da carne de cordeiros terminados em confinamento alimentados com dietas contendo soja grão ou gordura protegida. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40 (8): 1822-1829.
- Ramírez-Briebesca J. E., Hernández-Cruz L., Cruz-Monterrosa R. G., Guerrero-Legarreta I., Mota-Rojas D., Rayas-Amor A. A., Cuchillo-Hilario M. 2021. The effects of diets containing two corn stubble levels and three non-hydrogenated lipids sources on fattening performance, carcass, and meat quality of male hair-lambs. *Italian Journal of Animal Science*. 20(1): 406-418.
- Villanueva-Partida C. R., Díaz-Echeverría V. F., Chay-Canul A. J., Ramírez-Avilés L., Casanova-Lugo F., Oros-Ortega I. 2019. Comportamiento productivo e ingestivo de ovinos en crecimiento en sistemas silvopastoriles y de engorda en confinamiento. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 10(4): 870-884.
- Wang Y., Callejo R., Slawin A. M., O'Hagan, D. 2014. The difluoromethylene (CF₂) group in aliphatic chains: Synthesis and conformational preference of palmitic acids and nonadecane containing CF₂ groups. *Beilstein journal of organic chemistry*. 10(1): 18-25.



DIETAS ISOENERGÉTICAS EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, RENDIMIENTO EN CANAL Y CALIDAD DE CARNE EN OVINOS KATAHDIN

ISOENERGY DIETS IN PRODUCTIVE BEHAVIOR, CARCASS PERFORMANCE AND MEAT QUALITY IN KATADHIN OVINE

¹Verduzco Leó LG, ²Orozco Durán KE, ³Herrera Ojeda JB, ¹Bautista Hernández MA, ⁴Pérez Sánchez RE, ¹López Rodríguez M, ¹ Sánchez Parra VM.

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ²Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ³Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, ⁴Facultad de Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

*Autor para correspondencia: victor.sanchez@umich.mx

RESÚMEN

En México la demanda de carne de ovinos ha presentado un aumento progresivo y su producción se ha sostenido en los últimos diez años lo que hace pensar en un futuro promisorio para la ovinocultura. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos dietas isoenergéticas en la conversión alimenticia, ganancia diaria de peso y rendimiento en canal de corderos Katahdin en la etapa de 20 -40 Kg de peso, se utilizaron dos grupos de corderos (n=10) con un peso inicial promedio de 19 Kg. Se utilizó una dieta adicionada con grasa de sobrepeso (GS) y al segundo grupo, se le ofreció una dieta que contenía 1,2 propanodiol (GP) como gluconeogénico. Ambas dietas fueron isoenergéticas y se formularon con insumos similares Los animales fueron alimentados *ad libitum* durante 45 días. Se programaron pesajes semanales y al alcanzar los 40 kg de peso los animales se llevaron a sacrificio. No se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) en cuanto a la conversión alimenticia (GS=5.7 vs GP= 5.9), ganancia diaria de peso (GS= 316 g vs GP= 314 g), ni en cuanto al rendimiento en canal (GS =48.24 % vs GP 48.29 %). Se concluye que el sexo del animal influyó en la ganancia diaria de peso en ambas dietas isoenergéticas. La dieta isoenergética con propanodiol mostró una conversión alimenticia marginal respecto a la dieta con grasa de sobrepeso, por lo que es una opción para la alimentación de los ovinos.

Palabras Clave: *Conversión alimenticia, dietas, grasa.*

INTRODUCCIÓN

En México a pesar de que el consumo *per cápita* es bajo, la producción de carne de borrego ha presentado un aumento progresivo durante los últimos 10 años (SIAP, 2018). A pesar de ello en México solo genera el 70% de la carne ovina que se consume, lo que genera un mercado interno potencial de unas 30,000 toneladas anuales, esta es una ventana de oportunidad para los productores (Partida, et al., 2013; Carrera, 2008). Campos

La carne de ovino en México se ha afianzado en el gusto de consumidores y transformadores por su calidad, sabor y ternura, derivados éstos, de los sistemas de engorda intensiva, caracterizados por la alta inclusión de granos y oleaginosas en la dieta, lo que representa alrededor del 70% del costo total de producción. (Carrera, 2008). El magro margen de rentabilidad ha orillado a la búsqueda de alternativas, para disminuir el aporte de granos, siendo los aditivos alimenticios, una opción viable para lograr el rendimiento deseado, al reducir costos por alimentación (Campos, et al., 2015; Velazquez, 2017).

Uno de los gluconeogénicos más probados en rumiantes ha sido el 1,2 propanodiol, del cual una porción es fermentada en el rumen produciendo ácido láctico y propiónico, mientras que el que sobrepasa es absorbido y transportado vía sanguínea al hígado donde es metabolizado a glucosa y almacenado como glucógeno. Además el propanodiol se ha usado en el tratamiento del balance energético negativo (BEN), con el fin de prevenir la cetosis; en la engorda de toretes éste ha probado tener mejor desempeño que las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), en el peso final y la ganancia diaria de peso ($P < 0.05$) (Livas, 2015). Sin embargo, de acuerdo con López, (2017) al evaluar dietas con diferentes niveles de 1,2



propanodiol, (20, 40 y 60 g); reportaron que la mayor ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, peso de la canal caliente y área del ojo de la costilla con la dosis más baja del producto 20g).

Otra alternativa para mejorar la nutrición en la engorda ovina es la adición de grasas, aceites, ácidos grasos y grasa protegida. Se ha reportado que el consumo de glicerol en rumiantes modifica la relación acetato: propionato aumentando la producción de este último, por lo que el glicerol puede sustituir parcialmente los ingredientes a base de almidón en la dieta, ya que éste se convierte en propionato en el rumen y actúa como precursor en la síntesis de glucosa hepática. Sin embargo, la inclusión de grasas y glicerol en la nutrición de ovinos tiene límites estrechos (no más del 6 %). En ovinos se ha reportado un menor consumo de alimento cuando se adiciona glicerol bruto, como consecuencia del elevado contenido de metanol (6%) provocando rechazo del alimento y en consecuencia, reducción del consumo de materia seca (Hidalgo, et al., 2018). Por otro lado, la suplementación con algunos ácidos grasos como el propionato, afecta el flujo de glucosa, la deposición de grasa y el crecimiento de músculo en el borrego, este producto se debe administrar en dosis bajas, ya que induce un efecto hipófagico en rumiantes (González, 2018).

El objetivo de este trabajo fue comparar dos dietas isoenergéticas con grasa de sobrepeso y 1,2 propanodiol sobre parámetros productivos y características de la canal en borregos Katahdin.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó de septiembre a noviembre de 2019 en el sector de ovinos del Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, ubicado en el km. 6.5 Carretera Morelia- Salamanca, en el municipio de Morelia, Michoacán. El municipio de Morelia se localiza en la zona centro-norte del estado. Su cabecera es la capital del Estado de Michoacán. Se ubica en las coordenadas 19°42' de latitud norte y 101°11.4' de longitud oeste, a una altura de 1, 951 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con una superficie de 1,196.95 km². Predomina el clima del subtipo templado de humedad media, con régimen de lluvias en verano de 700 a 1,000 milímetros de precipitación anual y lluvias invernales de 5 milímetros anuales promedio. La temperatura media anual es de 14° a 18°C.

Para este estudio se seleccionaron 20 corderos de destete de la raza Katahdin, con un peso promedio de 19 kg, divididos en 2 grupos. En el cual el grupo 1 se identificó como grasa de sobrepeso "GS" y el grupo 2, 1,2 propanodiol "GP". Los cuales se mantuvieron en estabulación en un periodo de 45 días de engorda. Todos fueron contemporáneos en grupos de parición con un máximo de diferencia de 15 días de edad, provenientes de los mismos sementales.

Los animales fueron sometidos a una dieta de adaptación, la cual fue tomada como la semana 0. La formulación y requerimientos nutricionales de las dietas fueron basadas de acuerdo a National Research Council (NRC) para una ganancia diaria de peso de 250 gramos. Ambos tratamientos contenían el 16.7% de proteína cruda, 2.9 Mcal/Kg de energía metabolizable y un contenido de fibra de 12.36 y 12.83% respectivamente. El porcentaje de materia seca para el tratamiento 1 fue 84% y para el tratamiento 2 del 83.58%. Las dietas formuladas para el experimento se muestran en el cuadro 1. Se proporcionó alimentación y agua *ad libitum*, realizando el pesaje del alimento servido y rechazado por grupo diariamente a las 09:00 horas. Registrándose los datos del alimento ofrecido como del rechazado, para obtener la cantidad de alimento consumido.

Se realizaron cuatro pesajes durante el estudio, los días 1, 15, 30 y 45 del experimento, haciendo uso de una báscula colgante portátil digital. Registrando la fecha en que se realizó y el peso obtenido por cordero. Para obtener el parámetro de conversión alimenticia, fue fundamental los parámetros productivos de consumo de alimento y GDP para lo cual se utilizaron los siguientes parámetros (Cuadro 2).

Cuadro 1. Formulación de dietas para el experimento.

% de inclusión de insumos en base seca		
Insumo	Dieta grasa de sobrepeso	Dieta 1,2 propanodiol
Sorgo grano molido	39.75	38.27
Salvado de trigo	2.37	4.86



Harina de soya	18.66	4.07
Rastrojo de maíz	22.24	23.00
Silaje de maíz	7.76	7.09
Harina de canola	3.0	20.27
Carbonato de calcio	0.82	1.54
Grasa de sobrepaso	5.00	-----
1,2 propanodiol	-----	0.50
Sal	0.30	0.30
Minerales y vitaminas	0.10	0.10

Cuadro 2. Determinación de parámetros productivos

Parámetro	Formula
Consumo de alimento	$\text{Kg de alimento ofrecido} - \text{Kg de alimento rechazado}$
Ganancia diaria de peso (GDP)	$\frac{\text{Peso final} - \text{peso inicial (cada periodo)}}{\text{No. de días del periodo}}$
Conversión Alimenticia (CA)	$\frac{\text{Kg de alimento}}{\text{Kg de ganancia}}$

La medición del rendimiento de la canal, grasa dorsal y área del ojo de la chuleta se realizó sacrificando a los corderos que tuvieran más de 40 kg de pesos vivo por cada grupo.

Para obtener el rendimiento de canal se realizó la siguiente ecuación del peso en canal caliente/ peso vivo al sacrificio x 100.

Para obtener las medidas de grasa dorsal y área del ojo de chuleta, la medición se realizó después del sacrificio del animal, empleando una regla metálica graduada en milímetros, se hizo un corte entre el espacio intercostal de la T12^a y la T13^a hasta la línea media dorsal. Se tomaron dos medidas perpendiculares a partir de esta zona: diámetro mayor en sentido medio lateral y diámetro menor en sentido dorso ventral, esto de acuerdo a Robles, (2017).

Para medir el espesor de grasa dorsal se ubicó el límite del músculo *Longissimus dorsi* hasta el límite del tejido adiposo con la piel de acuerdo a lo propuesto por Cesa *et al.*, (2010)

Los datos de conversión alimenticia, GDP y rendimiento en canal, bajo un ANOVA multifactorial (Statgraphics versión 7), sin embargo, no se encontraron resultados significativos (Cuadro 5). Por lo cual posteriormente para el indicador GDP se analizaron los resultados obtenidos bajo un arreglo factorial, en el modelo GLM, con un diseño completamente al azar empleando el programa SAS (2003)

De forma matricial el modelo fue el siguiente:

$$Y_{ij\mu} = \mu + \text{traj} + \text{sexoj} + \text{trat} \times \text{sexo1j} + b_1(x_1 - \bar{X}_1) + b_2(x_1 - \bar{X}_2)^2 + \epsilon_{1j\mu}$$

$Y_{ij\mu}$ = Una observación de la variable respuesta

μ = Media general que representa a la población

traj= Efecto fijo de i-esimo tratamiento

i=1,2

Sexoj= Efecto fijo de i-esimo sexo j=1,2

Trat x sexo1j= efecto fijo de la interacción del i-esimo tratamiento x i-esimo sexo

$b_1(X_1 - \bar{X}_1)$ = efecto fijo de la covariable peso inicial en forma lineal

$b_2(X_1 - \bar{X}_2)^2$ = efecto de la covariable por inicial en forma cuadrática

$\epsilon_{1j\mu}$ = efecto aleatorio asociado a cada observación



En cuanto a los indicadores obtenidos post mortem (rendimiento de la canal, grasa dorsal y área del ojo de la chuleta), se realizó un análisis descriptivo (media, DE), debido a la cantidad de animales sacrificados y como consecuencia la cantidad de datos

RESULTADOS Y DISCUSION

En cuanto a los indicadores analizados, no se encontraron diferencias significativas para la GDP ni para el rendimiento en canal en ambos tratamientos en el presente estudio (Cuadro, 3), sin embargo, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para la conversión alimenticia, obteniendo 207 g para el grupo el 1,2 propanodiol.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados para los indicadores productivas en corderos Katahdin alimentados bajo dos fuentes energéticas distintas (GS, GP).

Indicadores Productivos	GS		GP	
	□	D.E.	□	D.E.
Conversión alimenticia (kg)	5.72	0.91	5.93 ^a	2.45
GDP (g)	316	0.04	314	0.09
Rendimiento en canal (%)	48.24	0.73	48.29	0.48

^a Indica diferencia significativa ($P < 0.05$) en la columna

El cuadro 4 muestra los resultados obtenidos del modelo lineal utilizado, demostrando un efecto del sexo del animal para la GDP ($P < 0.0001$) de las hembras sobre los machos.

De igual manera el efecto de la interacción del tratamiento x el sexo presentó diferencias significativas ($P < 0.0001$).

Cuadro 4. Interacción para ganancia diaria de peso (GDP), bajo el efecto tratamiento x sexo de corderos katahdin alimentados con dos fuentes energéticas distintas (GP, GS).

GS X H	0.207±0.024*
GS X M	0.242±0.024*
GP X H	0.155±0.022*
GP X M	0.270±0.017*

GS: grasa de sobrepaso

GP: 1,2 propanodiol

*Indica diferencia significativa ($P < 0.0001$)

Grasa dorsal y área del ojo de chuleta

Las medidas de la grasa dorsal *ante y post mortem* no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en ambos tratamientos. Los promedios de los diámetros medidos en el ojo de chuleta no mostraron diferencias ($P > 0.05$) tanto ante y post mortem.

Cuadro 5. Medidas post mortem para los diámetros del área de ojo de chuleta (Media± DE)

	Diámetro mayor (cm)	Diámetro menor (cm)
GS	5.7±0.707	3.05±0.495
GP	5.55±0.354	3.55±0.495

GS= grasa de sobrepaso

GP=1,2 propanodiol



La Conversión alimenticia encontrada en el presente estudio (5.8 kg) fue superior a lo reportado por Macías *et al.*, (2010) en donde evaluaron el crecimiento de corderos Pelibuey puros y sus cruzas con razas Dorper y Katahdin donde reportaron 6.3, 6.3 y 6.9 kg de conversión alimenticia respectivamente. Por otra parte, Velázquez (2017) obtuvo una CA de 5.76 y 6.67 kg al utilizar propionato de calcio y sodio en ovinos en finalización.

Por otro lado, Moreno, *et al.*, (2013), obtuvo una CA de 5.41 para la raza Katahdin y de 7.18 kg para la raza Pelibuey. Esto puede indicar que el uso de aditivos energéticos en las dietas de borregos en crecimiento puede aumentar el peso vivo, ya que el uso de una menor cantidad de alimento puede ayudar a disminuir los costos de alimentación en un sistema ovino.

En cuanto a la GDP, los datos observados en el presente trabajo fueron superiores a los descritos por López, (2017) el cual estudió el efecto del propanodiol en diferentes porcentajes de inclusión, obteniendo ganancias de 244.99 a 266.92 g cuando incluyó del 0% al 1%, respectivamente. Otros autores indican diferencias como Pérez *et al.*, (2011), donde reportan una menor diferencia de 74g de GDP en ovinos de pelo con una alimentación intensiva.

Al contrario, Gonzáles, (2018), obtuvo una ganancia de 358 g de peso estudiando el efecto del propionato de calcio en ovinos de finalización.

En el trabajo realizado se evaluó la interacción entre el sexo y el tratamiento, encontrando significancia. Se observa una mejor GDP para machos comparándolos con las hembras.

Existen diversos autores que han reportado el efecto del sexo sobre la GDP, Barajas *et al.*, (2013); Blardony *et al.* (2013); Macías *et al.*, (2010). Dichos autores obtuvieron resultados similares a los del presente estudio, se observó que los machos obtuvieron mayor GDP en comparación de las hembras. Estos autores reportan que en la etapa posdestete el crecimiento diario de los machos supera significativamente al de las hembras, debido a que la deposición de la grasa es mayor en las hembras. Este efecto puede deberse a la producción de testosterona, hormona que actúa como promotor de crecimiento (Macedo & Arredondo, 2008).

Con respecto a los tratamientos los machos y hembras del grupo GS tuvieron una mejor GDP. Sin embargo, esta interacción no se encuentra reportada en la literatura.

El rendimiento en canal fue similar en ambos grupos del presente trabajo (48%), este resultado fue menor, respecto a lo publicado por Partida *et al.*, (2013) donde señalada que el rendimiento para la raza Katahdin debe de ser del 50%. Sin embargo, los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Gómez *et al.* (2017), quienes obtuvieron 48% de rendimiento en canal al evaluar el rendimiento de corderos de pelo, alimentados con diferentes proporciones de *Tithonia diversifolia* y *Pennisetum spp* y con Cantón *et al.*, (2019) quienes evaluaron la inclusión de concentrado y forraje en la dieta de corderos cruzados katahdin con pelibuey. Este resultado está ligeramente por debajo de lo reportado por Magaña *et al.* (2015), en donde obtuvieron un 49%, al utilizar alimento comercial en la alimentación en jaulas elevadas.

El peso al sacrificio fue de 42.1 y 43.86 para GS y GP respectivamente, mostraron ser superiores a lo reportado por Macías *et al.* (2010), que evaluaron el comportamiento productivo de corderos Pelibuey puro, Dorper x Pelibuey y Katahdin x Pelibuey, y obtuvieron 34.2, 39.9, 36.6 kg, respectivamente. Ortiz, (2009) observó el efecto de diferentes niveles de energía y proteína en corderos katahdin x pelibuey que obtuvieron pesos al sacrificio 43.42 kg hasta 46.60 kg, mostrando similitudes a lo encontrado en presente trabajo, aunque la duración del experimento fue mayor (84 días). Como ya se mencionó el peso al sacrificio afecta la mayoría de las características de la canal, en donde los animales más pesados registran los mayores valores para la canal (Pérez Chávez, *et al.*, 2019).

El peso en canal caliente promedio fue de 20.75 kg, resultado similar a otros autores tal como lo reportado por Zazueta (2016) y Magaña (2015) en las características de la canal en ovinos de pelo, (20.52 ± 0.7 kg y 20.2 ± 0.48 kg, respectivamente). Pérez *et al.*, (2019) al usar alimento concentrado con 3 tipos de pasto obtuvo 21.08, 21.11, 21.24 kg, quienes también tuvieron pesos al sacrificio similares a los encontrados en este trabajo obtuvieron 22.8±2.71 kg promedio al evaluar en rendimiento en cortes de cordero Katahdin y su relación entre el peso de la canal.

La grasa dorsal *post mortem* fue superior a lo descrito por Vázquez, *et al.*, (2011) quienes obtuvieron un promedio de 4.62 mm evaluando el comportamiento productivo de la raza Katahdin con cuatro cruza terminales, sin embargo, la cruza de Katahdin- charoláis obtuvo 6.33 ± 1.22 mm, dato concuerda



con lo obtenido en este trabajo, lo que puede deberse a que los corderos Katahdin puros tienden a depositar mayor cantidad de grasa subcutánea.

De acuerdo a la NMX-FF-106-SCFI-2006, las canales obtenidas durante el experimento son clasificadas dentro de las categorías MÉXICO EXTRA (MEX EXT) Y MÉXICO 1 (MEX 1). Esta característica permiten señalar que las canales obtenidas bajo estos dos tratamientos pueden producir canales de buena calidad.

Al evaluar los resultados promedio de los diámetros mayor y menor del ojo de chuleta (5.625 y 3.3 cm) se encontró que estos resultados concuerdan con Partida *et al.*, (2017) que obtuvieron 5.5 ± 1.3 y 3.4 ± 0.8 cm para ambos diámetros en el sistema intensivo, estos resultados son comparables por el tipo de sistema de producción empleado.

CONCLUSIONES

No se encontraron diferencias significativas en los parámetros productivos ni en la calidad de canal en borregos Katahdin alimentados con dos dietas, sin embargo, los resultados permiten inferir que las dietas isoenergéticas adicionadas con grasa de sobrepaso y 1,2 propanodiol son una opción en la alimentación de los ovinos.

LITERATURA CITADA

- Barajas Cruz, R., Ortiz López, B., Álvarez García, J. & Romo Rubio, J., 2013. Influencia del sexo en la respuesta productiva de ovinos en engorda intensiva en condiciones comerciales. La contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México, pp. 554-557.
- Blardony Ricardez, K. y otros, 2013. Ganancia de peso en corderos de pelo alimentados con una dieta integral de saccharina y un probiótico. Ciencia de la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ, 11(1), pp. 29-35.
- Campos, C. C. y otros, 2015. Avances de la producción de pequeños rumiantes en el noroeste de México. Primera ed. Ciudad Victoria(Tamaulipas): Universidad Autonoma de Tamaulipas.
- Cantón, J. y otros, 2019. Características físicas de la carne de corderos katahdin con pelibuey alimentados con dietas a base de concentrado y forraje. En: W. Cetzal Ix, F. Casanova Lugo, A. Chay Canul & J. F. Martínez Puc, edits. Agroecosistemas tropicales: conservación de recursos naturales y recursos naturales. Primera ed. Chiná: Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Instituto Tecnológico de la Zona Maya, pp. 516-520.
- Carrera, B., 2008. La ovinocultura en México: Alternativa para los ovinocultores rurales?, Ciudad Juárez: Avances.
- Cesa, A., Alvarez, M., Villa, M. & Villareal, E., 2010. Protocolo de obtención y medición de imagenes de ojo de bife en pequeños rumiantes, s.l.: Inta.
- Duarte, J., Ramirez, G. & Castañeda, R., 2016. Grasa sobrepasante: aplicaciones y su proceso de obtencion para la alimentación de rumiantes en el trópico. Revista Colombiana de Ciencia Animal, 8(2), pp. 228-242.
- Gómez- Gurrola, A. y otros, 2017. Rendimiento en canal de corderos de pelo, alimentados con diferentes proporciones de *Tithonia diversifolia* y *Pennisetum spp.*. Abanico Veterinario, 7(2), pp. 34-42.
- González, Y. F., 2018. Efecto de adición de propionato de calcio en la digestibilidad de ovinos en finalización, Amecameca, Estado de Mexico: Facultad de Medicina Vetrinaria y Zootecnia.
- Hidalgo, U. y otros, 2018. Glicerol una alternativa para la alimentación de rumiantes. Agroproductividad, 11(5), pp. 124-129.
- Livas, F., 2015. Efecto del sustrato gluconeogénico lipofeed y una levadura viva sobre el crecimiento de toretes suizo x cebú en el trópico seco, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- López, A. H., 2017. Efecto del 1,2- propanodiol sobre parámetros productivos, metabolitos sanguíneos y actividad ruminal en ovinos de carne, Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Macedo, R. & Arredondo, V., 2008. Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos pelibuey en manejo intensivo. Archivos de Zootecnia, 57(218), pp. 219-228.
- Macías Cruz, U. y otros, 2013. Crecimiento y características de canal en corderas tratadas con clohidrato de zilpaterol durante primavera y verano. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 4(1), pp. 1-12.



- Macias, U. y otros, 2010. Crecimiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdin en confinamiento. Archivos de Medicina Veterinaria, 42(3), pp. 147-154.
- Magaña Monforte, J. y otros, 2015. Crecimiento y componentes de la canal de ovinos de pelo en jaulas elevadas. Development, Volumen 27, p. 6.
- Moreno Cárñez, E., Ortega García, C., Cárñez Carrasco, M. G. & Peñuñuri Molina, F., 2013. Evaluación del comportamiento posdestete en corral de futuros sementales ovinos de raza Katahdin y Pelibuey en Sonora. Tecnociencia Chihuahua, 7(1), pp. 7-15.
- Partida de la Peña, J. A. y otros, 2017. Caracterización de la canales ovinas producidas en México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 8(3), pp. 269-277.
- Partida, J. A. y otros, 2013. Producción de carne ovina, Ajuchitlan, Qro.: Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal.
- Pérez Chávez, A. E. y otros, 2019. Características físicas de la carne de corderos katahdin con pelibuey alimentados a base de forraje y concentrado. Agroproductividad, 12(12), pp. 61-65.
- Pérez, E. d. J. y otros, 2011. Parámetros productivos en ovinos de pelo en un sistema de alimentación intensiva en la región central de Chiapas. Quehacer Científico en Chiapas, 1(12), pp. 7-13.
- Ramírez, J. I., 2014. Evaluación de niveles crecientes de energía en la suplementación de novillos de engorde en pastoreo, San Carlos, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Robles, L. E., 2017. Correlación entre parámetros ante mortem y características de la canal en ovinos producidos en México, Toluca: Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- SIAP, 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea]
Available at: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
[Último acceso: 11 Septiembre 2019].
- Vázquez Soria, E. T., Partida de la Peña, J. A., Rubio Lozano, M. S. & Méndez, M. D., 2011. Comportamiento productivo y características de la canal en corderos provenientes de la cruce de ovejas katahdin con machos de cuatro razas carnicas especializadas. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 2(3), pp. 247-258.
- Velazquez, L. A., 2017. Efecto del propionato de calcio y sodio en la alimentación de ovinos en finalización, Amecameca de Juárez: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Zazueta Tiscareño, B. A., 2016. Características, composición y calidad de la canal de ovinos de pelo en finalización intensiva, Chihuahua, México: Facultad de Zootecnia y Ecología.



ESTABLECIMIENTO DEL PASTO CAMELLO EN SUELOS ÁCIDOS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO

ESTABLISHMENT OF CAMEL GRASS IN ACID SOILS OF THE HUIMANGUILLO SAVANNA

¹Granados Zurita L., ²Guiot García JD., ¹Quiroz Valiente J., ³Jimenez Ortiz MM, ¹Castillo Linares EB., ⁴Salaya Calle ER.

¹Campo Experimental Huimanguillo (CIRGOC) del INIFAP. Km. 1 carretera Huimanguillo – Cárdenas.
²Papalotla Roma - Orizaba N° 195, Delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México. ³y⁴Consultor independiente.

Autor para correspondencia: granados.lorenzo@inifap.gob.mx

RESUMEN:

El objetivo fue evaluar diferentes niveles de fertilización en el establecimiento del pasto Camello (*Brachiaria* sp.) durante la época de nortes en Huimanguillo, Tabasco. Se utilizaron tres dosis de fertilización (100-40-00, 100-80-00 y 100-120-00) y un testigo sin fertilizar. Se evaluó la altura de la planta, longitud de la hoja, diámetro del tallo, relación hoja-tallo y cobertura. Para el análisis se utilizó un modelo completamente al azar con cuatro repeticiones. Los resultados indican que la altura, diámetro de tallo, relación hoja-tallo y cobertura total en el establecimiento, se dieron de manera más eficiente para los tratamientos donde se empleó fertilización. Se concluye que el uso de fertilización mejora las características agronómicas al establecimiento del pasto Camello.

Palabras clave: Especie, sabana, establecimiento.

INTRODUCCIÓN:

La ganadería bovina en las zonas tropicales es una actividad de importancia, donde el forraje a través del pastoreo es la base de la alimentación, ya sea en el sistema de bovino de doble propósito y/o vaca cría. Siendo el forraje la base de la alimentación en esta zona tropical, se requiere estar constantemente seleccionando especies de mayor potencial que resuelvan el problema de baja productividad que tienen estos sistemas de producción. Los pastos constituyen la principal fuente de alimentación para los bovinos en el trópico, tomando en cuenta que su contenido de proteína y digestibilidad son bajos. El género *Brachiaria* se caracteriza por ser una especie forrajera adaptada al trópico y principalmente a suelos marginales con pH ácido, los cuales son muy abundantes en los países de Sudamérica y México. Se desarrolla bien en altitudes comprendidas hasta 1,800 msnm, requiere de sitios donde las precipitaciones estén en un rango de 1,500 mm a 4,000 mm anuales, se le considera resistente a la sequía, la cual puede soportar hasta por cuatro meses. Sin embargo, existen dentro del mismo género especies que son más tolerantes a la sequía. Requiere para crecer satisfactoriamente temperaturas superiores a los 19° C (Ramos y Romero, 1976); su crecimiento óptimo se presenta en rangos de 26 a 30° C y algunas especies toleran grandes encharcamientos con excelente adaptación, se adapta a gran variedad de suelos, que comprenden desde los de alta fertilidad hasta los suelos de baja fertilidad. Toleran en forma intermedia la sombra, aunque prefiere estar a pleno sol, en donde presenta su mejor desarrollo. El género *Brachiaria* presenta altos porcentajes de semilla germinable (bajo condiciones de ambiente favorables), por lo que se puede propagar usándola, que es la manera más recomendable por su versatilidad y facilidad.

Existe una baja eficiencia productiva en los sistemas de producción ganaderos que puede ser explicada hasta cierto grado por los factores técnicos que intervienen en ella. Algunos de los factores limitantes de la producción bovina de doble propósito, son la baja la cantidad de animales en producción y la poca mano de obra dedicada a esta actividad (Granados, 2011). Sin embargo, algo que no se puede controlar es la variación climática donde se desarrolla, y que impacta de manera directa sobre los forrajes y



animales. Este sistema presenta una marcada estacionalidad (periodo de lluvias y periodo de estiaje), por lo que este factor muchas veces no se considera en la problemática de los rendimientos de la leche, haciendo ineficiente el sistema de producción (Macedo *et al.*, 2003). También presentan respuesta de producción y calidad diferentes dependiendo de las condiciones de humedad y luminosidad, así como del manejo ya sea bajo corte o pastoreo. Para ello se evaluará el pasto camello que es una *Brachiaria* sp., con alto potencial de producción según se reporta (Guiot, 2005).

Meléndez *et al.* (2020), caracterizó las especies del género *Brachiaria* como gramíneas anuales o perennes, de porte erecto, decumbentes, esparcidas o estoloníferas. Los tallos a menudo son enraizados en los nudos inferiores, y en las de tipo perenne usualmente emergen de una base algo rizomático-anudada. El haz es plana, lineal o lineal-lanceolada. Puede ser glabra o pilosa, con vainas foliares cercanas y sobrepuestas. La lígula se presenta como una membrana estrecha que puede ser vellosa o membranácea con borde ciliado, (Melendez, 2012). Dentro de la tribu *paniceae*, los principales caracteres que identifican el género *Brachiaria* son las espiguillas aovadas u oblongas, que se organizan en racimos de un solo lado con la gluma inferior adyacente al raquis. Estos caracteres no son de ningún tipo uniforme en todo el género, y en aquellas especies en que las espiguillas van en pares sobre un raquis triangular, la orientación de estas espiguillas es a veces difícil de determinar. La imagen tradicional de *Brachiaria* se basa en la morfología de especies comunes como *B. brizantha* y *B. decumbens* cuyas espiguillas son relativamente grande (3 a 6 mm de largo), son oblongas o elípticas y están organizadas en una fila regular a lo largo de un lado del raquis, que es aplanado en forma de cinta. Muchas especies, sin embargo, no se ajustan a este patrón. Gramínea perenne provistas de tallos más o menos erectos, puede llegar a medir 1.5 metros de altura. Forma macollas densas, vigorosas y pubescentes. Las hojas son lanceoladas y pilosa y su inflorescencia es un racimo, crece rápidamente y produce forraje de buena calidad (Guiot, 2005).

El establecimiento de la pradera del género *Brachiaria* y la disponibilidad de pastos de buena calidad, ha sido una de las principales limitaciones para que los trópicos; dadas sus características de ubicación y condiciones climáticas, se conviertan en zonas especializadas para la producción de carne y leche, mejorando así las condiciones de vida de los productores pecuarios. Una decisión del ganadero es elegir el pasto que mejor se adapte a las condiciones de su terreno, al manejo y finalidad zootécnica de su unidad productiva (Quiroz, 2011). En los años recientes se ha trabajado en la evaluación de gramíneas del genero *Urochloa*, en el establecimiento de diez especies: Mombasa, Mestizo, GP1467, Cobra, Mulato II, GP1435, Decumbens, Brizantha, Humícola, E. de África. En diversos trabajos realizados en el trópico (Melendez *et al.*, 2020), indica que la edad de rebrote constituye uno de los factores de mayor influencia tiene en el crecimiento. Por lo que es importante conocer el comportamiento en el establecimiento de diferentes especies en esta región del trópico (Quiroz *et al.*, 1999). Un aspecto a tomar en cuenta al establecimiento, es la aplicación de la tecnología adecuada, ya que es la secuencia de un proceso de siembra, sin embargo, hay factores que se ven influenciados y afectan el crecimiento y por lo tanto influyen en un buen establecimiento (Granados *et al.*, 1998). A diferencia de la altura de planta donde el crecimiento presenta diferentes comportamientos a los 110 días, para el caso de cobertura Mombasa, Decumbens y GP1435 obtuvieron las mayores coberturas (Bravo *et al.*, 2020).

En el presente trabajo se evaluó es establecimiento desde el punto de vista agronómico durante el establecimiento del pasto Camello bajo diferentes dosis de fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS:

El trabajo se realizó en el Rancho “5 Hermanos” ubicado en Huimanguillo, Tabasco. El clima de la región es tropical húmedo Am(f) de acuerdo a la clasificación de Köepen. La temperatura varía entre 20 °C y 34 °C y rara vez baja a menos de 17 °C. La precipitación media anual es de 2,123 mm presentándose más del 70% entre mayo y noviembre, (INEGI, 2007). Los suelos son Acrisol húmico. Para la siembra del pasto Camello se usó el método de surcado, esparciendo ahí la semilla. Se trazaron 16 parcelas de 5 x 5 metros para evaluar cuatro tratamientos de fertilización con cuatro repeticiones: 00-00-00, 100-40-00, 100-80-00 y 100-120-00 de NPK ha⁻¹, respectivamente. La preparación del terreno, consistió en el empleo de herbicida y posteriormente tres pasos de rastra. La siembra del pasto camello, se realizó con el uso de un tractor bajo el método de surcado y esparcida ahí la semilla, se colocaron a tres personas



arriba del tractor sobre la parte de atrás. La Fertilización en las unidades experimentales se efectuó a los siete días después de la siembra empleando fertilizante DAP 18-46-60, el cual se ajustó de acuerdo a la fórmula propuesta a cada tratamiento.

Las variables evaluadas fueron: altura (se midió con un metro desde el suelo y hasta la punta del tallo, esta se evaluó en tres plantas), longitud de hoja (se midió de la base del tallo a tres cuartos no considerando la punta), diámetro de tallo (se midió con el calibrador vernier a tres cm del suelo a tres plantas), relación hoja por tallo (esta variable se evaluó contando las hojas que tiene un hijuelo de la planta, se evaluaron tres), cobertura m² (se observó la cobertura que tenía la población dentro del cuadro de 0.25 m², considerando el criterio de suelo desnudo dentro de esta). Otro criterio que se tomó fue evaluar la cobertura de la parcela la cual era de 25 m², con el mismo criterio del cuadrado, se consideró el número de plantas que había en el cuadro por m². La evaluación del crecimiento de la siembra se realizó cada 15 días, hasta el establecimiento (110 dds). El diseño empleado fue un completamente al azar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Se presentan las características agronómicas del pasto Camello en la etapa de establecimiento, la toma de datos de altura de la planta en los tratamientos indica que hubo diferencias en el crecimiento ($P < 0.005$), respecto a los tratamientos fertilizados y el testigo, donde se aprecia el menor crecimiento. La misma tendencia se observó para las variables restantes según se muestra en el Cuadro 1. La población del forraje respecto a la estructura y arquitectura de la pradera fue adecuada.

Cuadro 1. Características agronómicas del pasto Camello al establecimiento en Huimanguillo, Tabasco.

TRATAMIENTO	ALTURA PLANTA	LONGITUD DE HOJA	DIAMETRO DE TALLO	RELACIÓN HOJA/TALLO	Nº PLANTAS/M ²	DE COBERTURA TOTAL
	Cm					%
00-00-00	10.91 ^b	16.83 ^a	2.15 ^b	4.58 ^b	72.25 ^a	46 ^b
100-40-00	27.41 ^a	18.41 ^a	2.29 ^a	5.75 ^a	66.75 ^a	87 ^a
100-80-00	26.83 ^a	17.16 ^a	2.29 ^a	5.33 ^{ba}	107.00 ^a	87 ^a
100-120-00	28.58 ^a	19.08 ^a	2.42 ^a	6.16 ^a	102.75 ^a	90 ^a

Literales entre filas indican diferencia significativa ($P < 0.001$)

Los niveles de fertilización en este trabajo del pasto Camello presentaron la mejor respuesta respecto al testigo ($P < 0.05$) en todas las variables (Cuadro 1), no habiendo diferencia entre las dosis de fertilización evaluadas. De acuerdo a los análisis realizados en el análisis de varianza, la variable Altura de la planta al establecimiento indica que se encontró diferencia ($P < 0.005$) entre las dosis de fertilización (promedio de 27.6 cm) con el testigo donde no se empleó fertilización (10.91 cm), lo cual nos dice que existe un 153 % de más altura cuando se aplica fertilizante. Los valores obtenidos en el presente trabajo son superiores a los reportados por Morales *et al.* (2020), quienes durante la fase de establecimiento de los pastos Cobra, Mestizo, Mulato y Chontalpo, obtuvieron diferencia estadística ($P < 0.05$) para la altura de planta en un primer muestreo, reportando mayor altura en Cobra con 24.5 cm, y la menor altura para Mestizo con 20.5 cm. En el segundo muestreo la mayor altura fue para Cobra con 17.7 cm y la menor Mulato con 11.7 cm; sin embargo, en este trabajo todos los tratamientos con fertilización resultaron similares en altura ($P > 0.05$). Granados *et al.* (2019), reportan que en vega de río a los 75 días se logró el establecimiento del pasto GP0423 (suelos fluvisoles), mientras que para el pasto Camello el establecimiento se logró a los 90 días, periodo considerablemente corto si se considera que son suelos ácidos donde se realizó el trabajo y establecido en la época de nortes, donde predomina la nubosidad y limita la fotosíntesis, por ende, hay bajo crecimiento. Las variables de respuestas, longitud de la hoja y número de plantas por m², no mostraron diferencia ($P > 0.005$) en los tratamientos evaluados. Esto puede



deberse a que la especie tiene una buena adaptación a suelos pobres y que el potencial genético hace que se manifieste un buen desarrollo de la planta respecto al tratamiento sin fertilizante. Por otra parte, se aprecia que será necesario ensayar otras dosis de fertilización, pues el incremento de fósforo, no hizo que se produjera más forraje y la cantidad de nitrógeno podría incrementar los rendimientos. Para Diámetro de tallo, el análisis indica que se encontró diferencia ($P < 0.005$) en las dosis de fertilización respecto al testigo, lo que se explica debido a que el tallo responde al nitrógeno y fósforos que contienen estos suelos marginales. En trabajos efectuados con pasto de crecimiento erecto como Taiwán, el cual presenta gran cantidad de tallos, responden favorablemente a la fertilización, los cuales pueden alcanzar un diámetro entre 12 y 15 mm (Ramos y Romero 1976). Granados (1998) reporta que con una frecuencia de corte de 60 días se obtuvo un diámetro del tallo de 4.5 cm, a diferencia de frecuencia de corte de 45 y 30 días donde observó diámetros de 2.04 y 1.4 cm en pasto Taiwán. Relación hoja-tallo, el análisis para esta variable al establecimiento indica que se encontró diferencia ($P < 0.005$) entre las dosis de fertilización y el testigo, lo que indica que el tallo y la hoja se ven beneficiados con la fertilización, aunque hay que considerar que el suelo juega un papel importante en esta respuesta, ya que el resultado indica que para el tratamiento de fertilización 100-80-00 la respuesta fue igual al testigo y a los otros dos tratamientos (Cuadro 1). La cobertura del pasto Camello durante el establecimiento se puede apreciar la respuesta a la fertilización (Cuadro 1), el comportamiento de la cobertura indica que conforme se incrementa la fertilización el porcentaje de la cobertura aumenta (Figura 1). Meléndez *et al.* (2020), al evaluar cuatro especies del género *Brachiaria*, encontró cobertura alrededor del 80 % en la época de nortes, similares a la registrada en este trabajo (Cuadro 1), cuya cobertura estuvo alrededor del 88 % en promedio, la diferencia del reporte de Morales *et al.* (2020) es que ellos trabajaron en suelos de lomerío y este trabajo se realizó en suelos planos de la sabana.

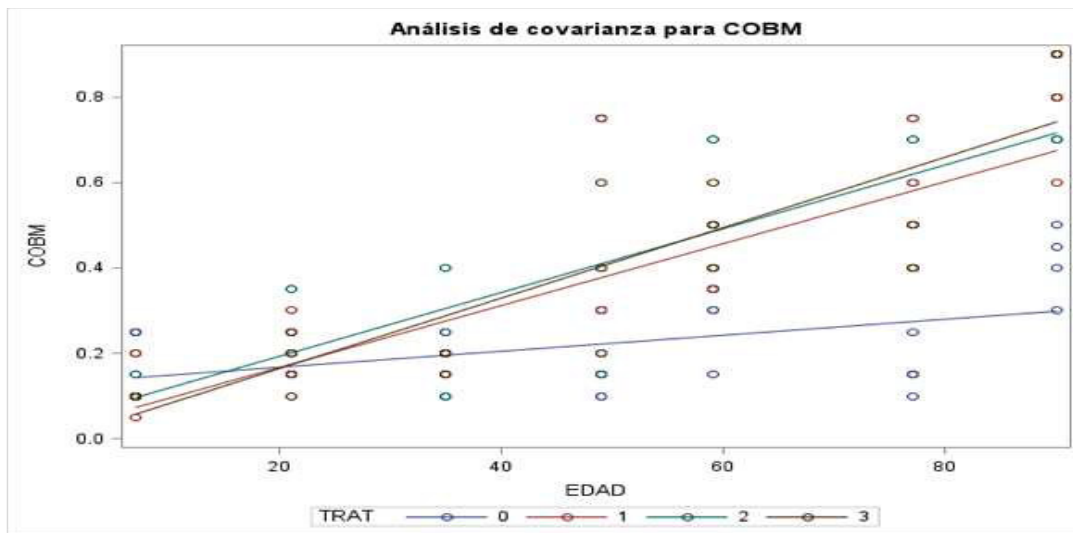


Figura 1.- Niveles de fertilización T_0 00-00-00, T_1 100-40-00, T_2 100-80-00 y T_3 100-120-00 y la cobertura a través del tiempo, en el establecimiento del pasto Camello en época de norte.

Para el caso del presente trabajo se muestra que conforme se incrementa la dosis de fertilización aumenta el tamaño de la planta y por ende se logra cubrir más la pradera. La fertilización de praderas no solo significa mejorar la fertilidad del suelo y la producción de forraje, sino también se produce un traspaso de minerales y nutrientes a los animales. Esto tiene una importancia relevante en la conversión de materia seca de la pradera en producto animal. La adecuada nutrición de la planta con nitrógeno aumenta el contenido de proteína del forraje. El nitrógeno es uno de los nutrimentos más deficientes de los suelos ácidos y de baja fertilidad de los trópicos y es también el más importante para la producción de biomasa. Para el manejo de la planta se debe considerar su fenología para cosecharla en el momento en que tiene su mejor contenido de nutrimentos y a la vez suficientes



reservas de carbohidratos solubles en sus coronas para sobreponerse a la defoliación causada por el pastoreo y continuar con un nuevo ciclo de crecimiento (Granados *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES:

El pasto Camello es un ecotipo de *Brachiaria* sp., que mostró durante el proceso de establecimiento respuesta a la fertilización en algunas variables evaluadas, sin embargo, la evidencia de su potencial de resistencia a suelos marginales deja al descubierto su adaptación, ya que el fertilizante no influyó en la variable relación hoja/tallo. Otro factor en contra fue la época “nortes” y que la mejor para este evento es la época de lluvias, sin embargo, el establecimiento se logró en un lapso muy bueno (108 días), alcanzando una cobertura de 90% cuando se adiciona la dosis de fertilización de 100-120-00.

LITERATURA CITADA

Bravo et al 2020

- Corbea, L. A., & Fernández, E. (1983). Fertilización NPK y momento óptimo de aplicación en el establecimiento de guinea likoni. *Pastos y Forrajes*, 6(2).
- Enrique QJF, Bolaños EDA (1999) Tecnología para la producción y manejo de forraje tropical en México. INIFAP Papaloapan, Veracruz, México 262pp.
- Fulkerson, W. J., & Donaghy, D. J. (2001). Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence-key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Australian journal of experimental agriculture*, 41(2), 261-275.
- Gómez Rodríguez, J. N. (2014). Agricultura urbana en América Latina y Colombia: perspectivas y elementos agronómicos diferenciadores.
- Granados Z. L. Granados R. L D, Quiroz V. J, Barrón A. Manuel. (2018). Efectos de la edad de rebrote y fertilización nitrogenada durante la estación seca y de lluvia en la composición nutricional de tres especies de pastos tropicales. XXX reunión científica tecnologica forestal y agropecuaria tabasco.
- Granados Z. L., Espinosa G.J.A. y Silva L.M. 1998. El pasto Taiwán, una opción para intensificar la ganadería bovina en los estados de Tabasco y Veracruz. En: XI Reunión Científica, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria. Villahermosa, Tabasco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestal, Agrícola y Pecuaria. pp: 96.
- Granados Z. L., Guiot G. J., Quiroz V. J., Barrón A M., Oliva-Hernández J., Jiménez O. M. M., May A. H. J. 2019. Persistencia del pasto GP0423 en tres cargas animal empleando becerros de lechería tropical en, Tabasco, México. XXXI Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2019 y VIII Simposio Internacional en Produccion Agroalimentaria Tropical, 7 y 8 de noviembre, Villahermosa, Tabasco, México.
- Granados Z., L., J. Quiroz V., M. Barrón A., C. Cruz P. y M. M. Jiménez O. 2011. Costo de producción del litro de leche y carne en un sistema de lechería de doble propósito. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. 1: 424-427.
- Guiot, J. D. (2005). Evaluación de híbridos de *Brachiaria* bajo pastoreo para producción de leche en Huimanguillo, Tabasco. Ponencia presentada en: XVIII Reunión científica tecnológica forestal y agropecuaria. Tabasco, Mexico.
- INEGI 2007
- Macedo, R., G., M. A., Zorrilla, J. M., Palma, J. M., & Guerrero, J. P. (2003). Análisis de un sistema de producción tradicional en Colima, México. *Archivos de zootecnia*, 52(200), 463-474.
- Martínez, V. P., Flores, J. S., & Pérez, R. M. (2002). Función de producción de la ganadería de doble propósito de la zona oriente del estado de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*, 40(2), 187-192.
- Melendez N. F. Morales, L. Guiot-García J.D. (2020). Establecimiento de cuatro especies forrajeras tropicales del género *Urochloa* en suelos de lomerío en Ostoacan, Chiapas. Retos y experiencias para lograr la soberanía alimentaria y sustentabilidad .
- Melendez, N. F. (1973). Evaluación de cuatro niveles de fertilización nitrogenada en la producción de carne de carne sobre padreras de estralla de africa *Cynodon plectostachyus*, Schum. H. cardenas Tabasco: Colegio Superior de Agricultura Tropical.
- Melendez. N. F. (2012). Principales forrajes para el tropico. Villahermosa, Tabasco: Universidad Popular de la Chontalpa, H. Cárdenas, Tabasco, México.



Morales et al 2020

- Olivera, Y., Machado, R., & Del Pozo, P. P. (2006). Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, 29(1).
- Paretas, J. S. (1989). Gramíneas y leguminosas comerciales y promisorias para la ganadería en Cuba. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes .
- Quiroz, D. J. (2011). Producción y manejo de forrajes forestales. Medellín de Bravo, Veracruz: CIRGOC.
- Quiroz et al 1999
- Ramírez, J. L., Herrera, R. S., Leonard, I., Verdecia, D., & Álvarez, Y. (2010). Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Brachiaria brizantha* x *Brachiaria ruziziensis* vc. Mulato en el Valle del Cauto, Cuba. *Revista cubana de ciencia agrícola*, 44(1), 65-72. Smil,
- Ramos, A. N. y Romero, C. 1976. El pasto *Brachiaria decumbens*. Características y establecimiento en los Llanos Orientales. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Fisiología Vegetal. Boletín Técnico No 40. Villavicencio, Colombia. 11 p.
- Roche, R., Menéndez, J., & Hernández, J. E. (1990). Características morfológicas indispensables para la clasificación de especies del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, 13(3).
- Sánchez-Bernal, E. I., Santos-Jerónimo, S., Ortega-Escobar, H. M., López-Garrido, S. J., & Camacho-Escobar, M. A. (2020). Crecimiento de los pastos Cayman y Cobra en diferentes niveles salinos de NaCl, en invernadero. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(2), 391-401.
- Villabos, L. V., & Longhi, M. M. (2015). Características taxonómicas de pastos *Brachiaria* utilizados en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 9(1), 39-56.



FERTILIZACIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ (*Zea Mayz* L.) PARA SILO

ORGANIC AND INORGANIC FERTILIZATION IN THE YIELD AT THE HARVEST OF CORN (ZEA MAYZ L.) FOR SILO

¹Jimenez Ortiz MM., ²Granados Zurita L., ²Quiroz Valiente J., ¹López Martínez G.

¹ Consultor independiente.

²Campo Experimental Huimanguillo (CIRGOC) del INIFAP. Km1 carretera Huimanguillo – Cárdenas.
Autor para correspondencia: granados.lorenzo@inifap.gob.mx

RESUMEN:

Con el objetivo de evaluar la fertilización orgánica en algunas variables agronómicas y en el rendimiento del forraje de maíz (*Zea mayz* L.) para silo, se realizó un trabajo en Huimanguillo, Tabasco. Se evaluaron cinco tratamientos en el cultivo de maíz: un testigo (sin fertilizante) T1= testigo 00-00-00; tres dosis de fertilización orgánica (composta de estiércol bovino); T2= 15 toneladas ha⁻¹ de composta (15C), T3= 30 toneladas ha⁻¹ de composta (30C), T4= 45 toneladas ha⁻¹ de composta (45C); y una dosis de fertilización química T5= 160-60-30 toneladas ha⁻¹ de NPK. La mayor altura de planta se obtuvo con el tratamiento 45C. Para las variables altura de mazorca y densidad inicial no se presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$). En la densidad inicial de plantas la tendencia indica que existe 11.1 y 14.9 % menos de plantas para el testigo y la fertilización inorgánica respectivamente, respecto a los tratamientos 15C y 30C. En relación a la densidad final del cultivo, el análisis de los datos mostró diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. El análisis estadístico no mostró diferencia ($P \geq 0.05$) para el rendimiento total, sin embargo la tendencia al mayor rendimiento se observa con el tratamiento 30C, estando 43.2 % arriba del tratamiento testigo y fertilización inorgánica. Los resultados obtenidos en el cultivo de maíz para ensilar indican que podemos implementar un manejo de fertilización orgánica como el estiércol bovino composteado en sustitución del fertilizante inorgánico, no demeritando el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: Fertilización, período, región, excretas.

INTRODUCCION:

Un adecuado suministro de nutrientes es un factor indispensable en la búsqueda de una alta productividad en cualquier explotación agropecuaria, más aún si estos cultivos están ubicados en suelos que no posean una capacidad natural para suministrarlos. Por excelencia, los fertilizantes son utilizados para entregar a la planta los elementos esenciales que el sustrato no provee (Pérez, 2014). La estadística mundial recopilada por la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, 1997, citarlo por sus siglas en inglés) muestra claramente cómo se ha comportado el uso de los fertilizantes químicos en el mundo, que en 1961 ascendió a 31.7 millones de toneladas y en 2015 sumó 183.9 millones de toneladas. Esto significa que en 55 años el consumo mundial de fertilizantes se multiplicó casi seis veces, lo que contrasta con el crecimiento de la población, que en el mismo lapso se multiplicó 2.4 veces (Guzmán, 2018). En México, en los últimos 40 años, el consumo de fertilizantes N-P-K se ha incrementado de 5×10^4 Mg a más de 5.5×10^6 Mg. Sin embargo, el uso de este insumo no ha sido el más adecuado y se han presentado problemas de contaminación ambiental (Peña *et al.*, 2001).

El uso excesivo de agroquímicos en la agricultura preocupa a los consumidores a nivel mundial, debido al alto grado de contaminantes que los frutos pudieran contener; además, de los problemas ambientales que estos pueden generar en los suelos agrícolas y aguas (superficiales y subterráneas) del planeta (cita). Para reducir el impacto negativo de los agroquímicos en el medio ambiente y en la inocuidad de los diferentes cultivos, se recomiendan sistemas de producción orgánica u orgánica mineral que supriman o reduzcan el uso de fertilizantes químicos (Romero *et al.*, 2012). Es por ello que es necesario replantear nuevas prácticas de fertilización que logren optimizar tanto los rendimientos de los cultivos



como los niveles de fertilidad del suelo por medio del uso de enmiendas orgánicas como estiércol de ganado, lombricomposta, abonos verdes, etc. El estiércol bovino aunque se considere un desecho, este material contiene diversos elementos muy útiles, como son el agua, los carbohidratos, proteínas, grasas y algunas sustancias inorgánicas o minerales, además de fragmentos celulares y microorganismos. Para aprovechar de manera más eficiente los nutrientes que se encuentran en los estiércoles, es conveniente procesarlos como enmiendas orgánicas (Arellano *et al.*, 2014). En México se utilizan una gran cantidad de variedades de maíz para ensilar, sin embargo, éstas se generaron para producir grano, por lo que es necesario determinar la capacidad productiva del forraje y su calidad bajo diferentes manejos. Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la fertilización orgánica en variables agronómicas y el rendimiento del forraje de maíz (*Zea mays* L.) para silo.

MATERIALES Y METODO:

El trabajo se efectuó en la rancharía Caobanal 2da Sección, del municipio de Huimanguillo, Tabasco. El clima en la región se clasifica como cálido húmedo, lluvioso en verano y otoño. La precipitación promedio anual es de 2,295 mm año⁻¹, con dos períodos definidos, húmedo de junio a octubre, donde se obtiene 70 % de la lluvia promedio anual, y seco de noviembre a mayo (cita). La temperatura máxima, media y mínima registrada es 35, 25 y 15 °C, respectivamente, con humedad relativa de 77.4 %. La zona de estudio se encuentra en un suelo de vega de río clasificado como Fluvisol eutrítico de textura arcilloso-arenoso (Palma *et al.*, 2007). El estudio se realizó durante el ciclo de cultivo primavera-verano en el período de junio-septiembre del 2017 bajo condiciones de temporal. El material que se utilizó para el cultivo del maíz es el híbrido PAS - 525. Se empleó el paquete tecnológico de producción para el cultivo del maíz del INIFAP (Tinoco *et al.*, 2002). El abono orgánico se aplicó a cada parcela según el tratamiento que les correspondía, tres días antes de la siembra de forma manual al voleo, posteriormente se dio un pase de rastra para su incorporación. El cultivo de maíz se realizó en un área de 1,140.8 m². La siembra se realizó una distancia de 80 cm entre surcos y 15 cm entre plantas con una densidad de siembra de 82,500 plantas ha⁻¹.

Se evaluaron cinco tratamientos en el cultivo de maíz: un testigo (sin fertilizante), tres dosis de fertilización orgánica y una dosis de fertilización química. T1= testigo 00-00-00; T2= 15 toneladas ha⁻¹ de composta (15C); T3= 30 toneladas ha⁻¹ de composta (30C); T4= 45 toneladas ha⁻¹ de composta (45C); T5= 160-60-30 toneladas ha⁻¹ de NPK. El fertilizante orgánico empleado fue estiércol de bovino compostado. Este fue recolectado en una unidad de doble propósito, el cual ya presentaba un pre-compostaje por acumulación en las orillas de los corrales. El proceso de compostaje se realizó en pila, volteando el material cada ocho días durante dos meses. Se aseguró que tuviera la humedad adecuada (prueba de puño cita) y se tapó con un nailon negro para protegerlo de la lluvia. Posteriormente se dejó en reposo durante un mes para su maduración. La dosis del fertilizante orgánico utilizada se calculó por regla de tres calculando el aporte de N al 100 % del nivel recomendado para el cultivo (30C). Las dosis de 15C y 45C fueron considerados 50 % abajo y 50 % arriba del 100 % de la dosis recomendada para el cultivo (30C). Para la fertilización química se utilizó urea (46% N), superfosfato triple de calcio (46% P₂ O₅) y cloruro de potasio (60% K₂O). Se aplicó la mitad de N y la dosis total de P y el K al momento de la siembra a lado de cada surco de manera manual, y a los 30 días posteriores a la siembra se aplicó la otra mitad de N (Jiménez–Ortiz *et al* 2019).

Para la evaluación de las variables estudiadas se seleccionaron dos plantas por parcela de los surcos centrales. Las variables de respuesta fueron: Altura de la planta (esta variable se midió a los 20, 40, 60 y 80 días después de la siembra (DDS). Se empleó un estadal y se midió en cm desde la base de la planta hasta la parte apical los primeros días, posteriormente hasta la parte media de la flor masculina); Altura de la mazorca (se midió a los 80 DDS, empleando un estadal y midiendo desde el suelo a la base de la primera mazorca ubicada de arriba hacia abajo); Densidad inicial y a la cosecha, (se contaron las plantas nacidas a los ocho DDS, y posteriormente se contaron las plantas productivas a los 80 DDS); Rendimiento en materia seca del forraje a la cosecha (se evaluó a los 80 DDS. Se cortaron dos plantas completas a 10 cm del suelo por repetición y se pesaron para determinar el rendimiento de forraje verde. Posteriormente se seleccionó una muestra de materia verde picada que incluya todas las partes de las plantas y en una bolsa de papel se secó en estufa de aire forzado por 72 horas a 70° C, para determinar el rendimiento en materia seca). Se utilizaron seis repeticiones por tratamiento, cada repetición



correspondió a una parcela experimental, cada parcela experimental fue de 20 m² cada una contó con seis surcos y se fue desechando un surco de cada lateral, para considerar los cuatro surcos centrales como el área útil para cada una de las parcelas (Jiménez–Ortiz *et al* 2019). El diseño que se empleó fue completamente al azar Las variables respuesta se analizaron estadísticamente con el procedimiento glm del programa estadístico SAS (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

De acuerdo a los resultados obtenidos a la cosecha del cultivo, la altura de las plantas vario de 251 a 280 cm, observándose la mayor altura en el tratamiento 30C (Cuadro1). Valores similares reportaron Barrios y Pérez (2018), en la evaluación a los 30, 60 y 120 dds en el cultivo de maíz cuando aplicaron 60 t de estiércol bovino ha⁻¹, con 122.5, 280 y 269 cm, respectivamente. Como se observa en los resultados la aplicación del estiércol composteado no mostró diferencia ($P \leq 0.05$) respecto a la fertilización química (Cuadro 1), lo cual indica que la fertilización orgánica responde muy bien en el desarrollo del cultivo, pudiendo sustituir a la fertilización química.

Cuadro 1. Variables agronómicas del cultivo de maíz (*Zea maíz* L.) con diferentes tipos de fertilización.

Tratamientos	Altura de plantas (cm)	Altura de la mazorca (cm)	Densidad inicial	Densidad final
Testigo	251.92 ^{ba}	221 ^a	59 259 ^a	46 296 ^{abcd}
15 C	277.00 ^{ba}	125 ^a	66 667 ^a	51 111 ^{ab}
30 C	280.00 ^a	124 ^a	66 667 ^a	51 111 ^{abc}
45 C	257.50 ^{ba}	127 ^a	65 278 ^a	57 778 ^a
Fertilización Inorgánica	261.67 ^{ba}	125 ^a	56 713 ^a	42 593 ^{bcd}

Literales entre filas indican diferencia significativa ($P < 0.001$)

Para las variables altura de mazorca y densidad inicial no se presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$), observando la misma respuesta entre los tipos de fertilización. En la densidad inicial de plantas la tendencia indica que existe 11.1 y 14.9 % menos de plantas para el testigo y la fertilización inorgánica respectivamente, respecto a los tratamientos 15C y 30C. En relación a la densidad final del cultivo, el análisis de los datos mostró diferencia ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. La mayor densidad final se obtuvo con el tratamiento 45C, superando a la fertilización inorgánica con 26.28 %. Esto muestra la importancia de emplear la fertilización orgánica. Las densidades de siembra en maíz varían según el objetivo, que puede ser grano, forraje o ambos, recomendándose para maíz forrajero una densidad de población óptima de 39,520 a 98,800 plantas por hectárea, ya que la biomasa total de forraje incrementa cuando lo hace la densidad de plantas (Sánchez *et al.*, 2012). Los valores obtenidos en el presente trabajo entran dentro del rango anteriormente mencionado.

El abono orgánico contribuye además a mejorar la textura del suelo y sus propiedades químicas, por la incorporación de materia orgánica (Jiménez *et al.*, 2019). Se puede apreciar la importancia de emplear la fertilización orgánica, ya que contribuye a obtener resultados similares que con la fertilización inorgánica. González *et al.* (2018), mencionan que el estiércol es una buena fuente de nutrientes y se puede combinar con otras fuentes de nitrógeno, para mejorar la nutrición vegetal y, por tanto, mejorar algunas de las variables que influyen directamente en la respuesta de los forrajes como en la densidad final. Así mismo Fortis *et al.* (2009), indican que la aplicación de abonos orgánicos incrementa la presencia de nitratos en el suelo lo que permitiría no aplicar nitrógeno al menos al inicio de un nuevo ciclo agrícola y que los abonos orgánicos pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de enfermedades provocadas por patógenos del suelo.

Respecto a la variable rendimiento total del forraje, el análisis estadístico no mostró diferencia estadísticas ($P \geq 0.05$), sin embargo, la tendencia al mayor rendimiento se observa con el tratamiento 30C, estando 43.2 % arriba del tratamiento testigo y fertilización inorgánica. Resultados similares se



reportaron con dosis orgánicas superiores a las del presente trabajo, las aplicaciones de estiércol evaluadas fueron 60, 120 y 180 t ha⁻¹, obteniendo rendimientos de 10.6, 11.3, 11.5 t MS ha⁻¹, respectivamente (Barrios y Pérez, 2018). Fortis *et al.* (2009), obtuvieron mejor respuesta para esta variable, empleando vermicompost con rendimiento de 12.87 t MS ha⁻¹. El incremento en la producción del cultivo con los tratamientos orgánicos se explica porque el estiércol no sólo retiene la humedad por más tiempo, sino que además es una fuente que libera los nutrientes de manera paulatina a través de todo el ciclo fenológico, favoreciendo el desarrollo del cultivo (cita).

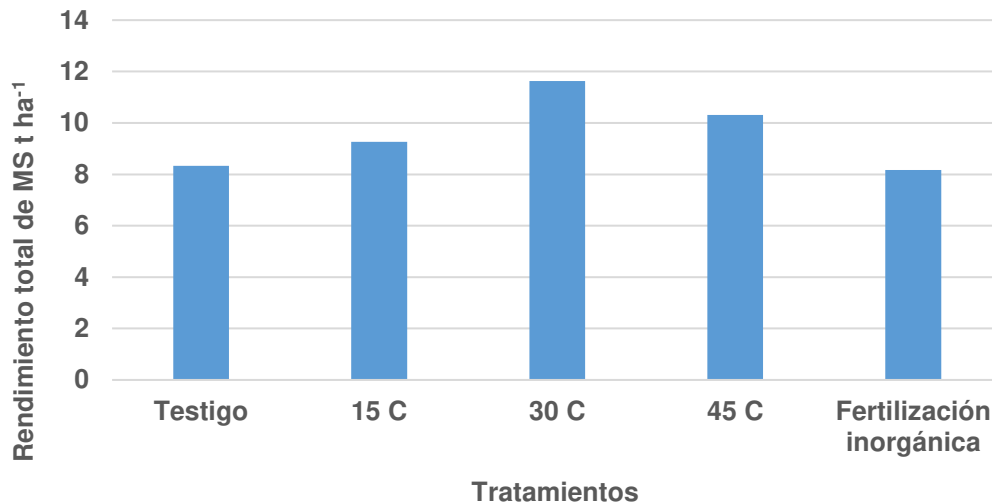


Figura 1. Rendimiento de materia seca (MS) t h⁻¹ del cultivo de maíz para silo con diferentes manejos de fertilización en Huimanguillo, Tabasco.

{CONCLUSIONES: Bajo este manejo de fertilización, se logra conocer el comportamiento de algunas variables agronómicas de la planta y el rendimiento del maíz para silo, en un ciclo de cultivo. La elaboración e implementación de abonos orgánicos principalmente estiércol de bovino puede ser una actividad de bajo nivel de dificultad, poca inversión económica y con muchos beneficios a nivel nutricional de la planta, lo que nos demuestra que los abonos orgánicos son una alternativa sustentable y amigable con el medio ambiente. De acuerdo a los resultados obtenidos en el cultivo de maíz para ensilar nos indican que podemos implementar un manejo de fertilización orgánica como el estiércol bovino composteado en sustitución del fertilizante inorgánico, no demeritando el rendimiento del cultivo. Debido a su contenido de nitrógeno, materia orgánica y más elementos, que aportan al suelo materiales nutritivos que favorecen la estructura del suelo, que permiten una mayor retención de agua, intercambio de gases y nutrientes, a nivel de las raíces de las plantas de maíz, el uso de las enmiendas orgánicas son una opción viable en los sistemas de producción agropecuarios.

LITERATURA CITADA

- Arellano, L., Cruz, R. M., y Huerta, C. 2014. El estiércol, material de desecho, de provecho y algo más. México: Instituto de Ecología, A.C.
- Barrios, M. y Pérez, D. 2018. Efecto de la aplicación continua de estiércol bovino sobre el crecimiento y producción de maíz y características químicas del suelo. *Bioagro* 30(2), 117-124.
- Fortis, H. M., Leos, R. J., Preciado, R. P., Orona, C. I., García, S. J., García, H. J., y Orozco, V. J. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, vol. 27, núm. 4, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México, 329-336.



- González, S. U., Gallegos, R. M., Vázquez, V. C., García, H. J., Fortis, H. M., y Mendoza, R. S. 2018. Productividad de genotipos de maíz forrajero bajo fertilización orgánica y propiedades físico-químicas del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen especial número 20.
- Guzmán, F. J. 2018. Dirección de propuestas estratégicas reporte de investigación fertilizantes químicos y biofertilizantes en México. Cámara de Diputados LXIII Legislatura. Palacio Legislativo de San Lázaro.
- Jiménez, O. M. 2019. Evaluación del uso del estiércol bovino y micorriza en la producción de forraje de maíz (*Zea mays* L.) en Tabasco, México. Tesis de doctorado. El Colegio de la Frontera Sur. Villahermosa, Tabasco.
- Palma, L. D. J., Cisneros, D. J., Moreno, C. E., y Rincon, R. J. A. 2007 *Suelos de Tabasco: Su Uso y Manejo Sustentable*. (Colegio de Postgraduados, Ed.) (1ra ed.). Villahermosa, Tabasco: Colegio de Postgraduados, Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Fundación Produce Tabasco A. C.
- Peña, C. J., Grageda, C. O., y Vera, N. J. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (^{15}N). México: Laboratorio de Microbiología Ambiental, CINVESTAV Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato.
- Pérez, V. J. 2014. *Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Departamento de Biociencias Medellín, Colombia.
- Romero, R. C., Ocampo, M. J., Sandoval, C. E., y Tobar, R. J. 2012. Fertilización orgánica – mineral y orgánica en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa* Duch.) Bajo condiciones de invernadero. México: Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3 Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 41-49.
- Sánchez, H. M., Aguilar, M. C., Valenzuela, J. N., Joaquín, T. B., Sánchez, H. C., y Jiménez, R. M. 2012. Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Revista mexicana de ciencias pecuarias Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* vol.4 no.3.
- SAS 2002 *SAS/STAT User's guide* (Release 9.3). Cary, North Carolina, USA: SAS Institute.
- Tinoco, A. C. A., Rodríguez, M. F.A., Sandoval, R. J. A., Barrón, F.S., Palafox, C. A., Esqueda, E. V.A., et al. 2002. *Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco*. INIFAP (ed) 1a Edición. INIFAP-CIRGOC Campo Experimental Papaloapan. Veracruz, México 113p.



ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES FORRAJERAS DE RECIENTE INTRODUCCIÓN EN SUELOS DE LOMERÍO DE PICHUCALCO, CHIAPAS

ESTABLISHMENT OF RECENTLY INTRODUCED FORAGE SPECIES IN THE SOILS OF THE HILLS OF PICHUCALCO, CHIAPAS

¹Granados Zurita L, ²Guiot García J D, ¹Quiroz Valiente J, ⁴Jiménez ORTIZ. M. M., ¹Castañeda Arriola. RO. ³Ibarra Puc J C, ¹Catillo Linares E B, ⁵Moreno Bravo E.

¹Campo Experimental Huimanguillo (CIRGOC) del INIFAP. Km1 carretera Huimanguillo – Cárdenas.

²Papalotla Roma - Orizaba N° 195, Delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México. ³y ⁴Consultor independiente.

⁵Profesor Universidad Autónoma de Chiapas Campus Pichucalco.

Autor para correspondencia: granados.lorenzo@inifap.gob.mx

RESUMEN

El objetivo del estudio fue conocer el proceso de establecimiento de diez especies forrajeras. El trabajo se realizó en el Sitio Experimental Pichucalco del INIFAP. Se empleó una superficie de 50 m de largo y 25 m de ancho para evaluar el establecimiento de diez especies: Mombasa, Mestizo, GP1467, Cobra, Mulato II, GP1435, Decumbens, Brizantha, Humídicola y Estrella de África. Las variables evaluadas fueron: la altura de la planta, número de hijuelos, producción de materia seca y porcentaje de cobertura. Se analizaron estadísticamente con el procedimiento GLM del programa estadístico SAS (2008). Para la variable altura de hijuelos se encontró significancia ($P < 0.001$) en Mombasa, que fue la especie que tuvo mayor altura (60 cm). Con respecto a la producción de materia seca y cobertura, no se encontró diferencia entre las especies evaluadas ($P > 0.001$). Se concluye que, durante el establecimiento las especies, presentaron diferentes curvas para altura y número de hijuelos, no así en la variable producción de materia seca y cobertura, ya que estas últimas tienden a ser iguales en materia seca y aproximarse el 90 % de cobertura a los 110 días en todas las especies.

Palabras claves: *Especies, región, curvas, establecimiento*

INTRODUCCIÓN

En México, entre las especies forrajeras de mayor importancia figuran las del género *Brachiaria* spp, hoy clasificado como *Urochloa*, las cuales cubren aproximadamente el 6.5 % de la superficie total de pasturas sembradas en la región tropical. Por lo que es importante conocer el comportamiento en el establecimiento de diferentes especies en esta región del trópico (Quiroz *et al.*, 2011). Chontalpo (*Brachiaria decumbens*), Hernández *et al.*, 2000 y Man *et al.*, 2013, indican que la aportación de tallos al rendimiento incrementó al aumentar el intervalo entre pastoreos de 14 a 28 días, lo cual concuerda con lo observado por otros autores, quienes consignaron que la proporción de hojas en el forraje cosechado disminuye al aumentar el intervalo entre cosechas, debido a un mayor crecimiento del tallo, cuando hay condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las plantas (época de lluvias); en contraste, durante la época de nortes la elongación del tallo es inhibida por las bajas temperaturas, mientras que en el periodo de seca, el déficit de agua es el factor limitante del crecimiento vegetal y por consiguiente de la escasa contribución del tallo al rendimiento. Al respecto, la edad de la planta es un factor que determina la distribución de materia seca en sus diferentes partes; es decir, conforme aumenta la edad de rebrote hay un incremento en la proporción de tallos y material senescente y disminuye la formación de hojas, lo que puede ocasionar una disminución en la relación hoja: tallo (Acosta *et al.*, 2021). Características del establecimiento de pastos, trabajar en el establecimiento de los pastos es un aspecto a tomar en cuenta, el apoyo de paquetes tecnológicos generados, ya que es la secuencia de un proceso de mecanización, uso de semilla, etc., sin embargo, hay factores que se ven influenciadas y afectan el crecimiento del pasto y por lo tanto influyen en un buen establecimiento (Harris, 1978; Cuesta *et al.*, 2003; Quiroz *et al.*, 2011). Para efectuar el establecimiento de gramíneas en estas zonas son pocos los productores que se guían de un paquete tecnológico y emplean mecanización y si emplean semilla gámica la depositan al suelo al



voleo. Teniendo en cuenta que hay variables que se ven influenciadas por factores que afectan el crecimiento del pasto tales como, humedad relativa, radiación solar de la región, precipitación anual, y la fertilidad del suelo, ésta última, se puede incrementar con la aplicación de fertilizantes (Enríquez et al., 2011). (Granados et al., 2019), trabajando con el pasto GP 0423 reporta para la siembra el uso sembrador manual, empleándose 8 kilogramos de semilla hectárea⁻¹. Los tratamientos fueron 00-00-00; 40-60-00; 60-60-00 kg ha⁻¹. Las variables de respuesta fueron, número de cepas por metro cuadrado, producción de forraje en base húmeda y base seca, composición química del pasto. Al comparar la proteína que contiene el pasto GP0423 al momento del establecimiento el cual se considero a los 75 días, en sus niveles de fertilización, la mejor respuesta se obtuvo con la fórmula 40-60-00 en 12.81 %. No obstante que no se encontró diferencia en ninguna de las variables de estudio, si hubo un comportamiento destacado para la fertilización 40 60 00. En trabajo realizado en Antonio León del municipio de Ostoacán, Chiapas, se empleó una superficie de 50 m de largo y 25 m de ancho para evaluar el establecimiento de cuatro especies a evaluar: Mestizo, Cobra, Mulato y Chontalpo. Las variables a evaluar altura de la planta y cobertura. Las variables de respuesta se analizaron estadísticamente con el procedimiento GLM del programa estadístico SAS. Los tres ecotipos nuevos de *Brachiaria* presentaron en la época de nortes un rendimiento de alrededor de 4.2 a 4.7 toneladas por hectárea de materia seca, con un promedio de hoja de 77 % y 23 % de materia seca. En relación al porcentaje de cobertura, también el pasto Mulato fue el de mayor cobertura con un 82 % al final de la época de nortes, (Meléndez et al., 2020). Altura, el análisis de varianza para esta variable al establecimiento indica que se encontró diferencia ($P < 0.005$) en las tres dosis de fertilización con un promedio de 57.24 cm en relación al testigo donde no se empleó que fue de 10.91 lo cual nos dice que existe un 63 % de más altura cuando se fertiliza (Granados *et al.*, 2020a). Calidad del pasto *Brachiaria*. Los suelos en lo particular son deficientes en nitrógeno, fósforo y potasio ya que la falta de estos elementos principales que limitan el crecimiento de las plantas forrajeras que son de mayor importancia en la producción de materia seca e influye en la calidad de los pastos, al intervenir en el contenido de proteína cruda y digestibilidad. De manera general se coincide en señalar respuestas en términos de producción de materia seca y valor nutritivo a la adición de fertilizantes nitrogenados, de esto no cabe duda. Asimismo, la edad de rebrote influye en el valor nutritivo del pasto, además, existe interacción entre el nivel de fertilización y la edad de rebrote, por lo que el manejo de la edad de rebrote y la aplicación de fertilizantes a la pradera incrementan el valor nutritivo de los pastos. Los bovinos de zonas tropicales basan su alimentación en el pastoreo (Granados *et al.*, 2019). Los contenidos de proteína promedio son altos con un 14% y digestibilidad media de la materia seca es de 71% con rangos que van de 55% a 75%. Para aprovechar los valores altos de proteína y digestibilidad de la MS es conveniente utilizar a este género entre los 20 y 30 días de edad del rebrote (Juárez., *et al* 2007). Sin embargo, los pastos en el trópico húmedo tienen una baja calidad nutritiva. El desarrollo de los pastos tropicales no solo depende de la fertilización, sino de acciones donde la frecuencia de corte y la edad de corte permitan un rebrote vigoroso y de buena calidad, el hábito de crecimiento de la planta es de gran importancia en el manejo de una planta útil al animal, de esa manera es también resulta necesario identificar su forma de propagación y persistencia (Granados *et al* 2019). Los pastos tropicales a los primeros días del corte o defoliación necesitan de un factor muy importante tales como las reservas orgánicas para su crecimiento adecuado del rebrote en el cual acelera la tasa de aparición de sus primeras hojas. El pobre manejo de las praderas, especialmente la baja utilización de fertilizantes y el sobrepastoreo, eventualmente resultan en un decremento en la tasa de crecimiento de las gramíneas, principalmente debido a una deficiencia de nitrógeno y fósforo en el suelo; para poder tomar decisiones se deben de considerar que la región del trópico húmedo se caracteriza por tres épocas climáticas (Acosta *et al* 2021). En trabajo efectuado en Ostitan 1ª sección, en Huimanguillo, Tabasco, bajo las condiciones experimentales concluye que la época del año tuvo una influencia baja sobre la calidad nutritiva de los forrajes en estudio. La fertilización incremento la concentración de proteína en los pastos y edades de rebrote tempranas provocaron mayor calidad nutritiva en los pastos, asimismo, a medida que aumentaba la edad de rebrote disminuye la calidad nutritiva de los pastos (Acosta *et al.*, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

El Sitio Experimental Pecuario Pichucalco (INIFAP), se localiza en el Km.14.5 de la carretera Teapa-Pichucalco. Cuya situación geográfica es latitud N 17° 40' y una longitud E 93° 06' a una altura que varía de 300 a 400 metros sobre el nivel del mar. Se caracteriza por tener una temperatura anual de 38 °C máxima, 28 °C media y 18 °C mínima, con precipitación pluvial de 3500 mm anuales. Dichas características



encuadran dentro de la clasificación Af (m) W (i) g (Clima cálido húmedo con lluvias durante todo el año), de acuerdo con Enriqueta García (1981). El tipo de suelo corresponde a la clasificación franco-arcillosa, color café- arcilloso, color café-rojizo y un pH de 6.3. El contenido de Nitrógeno disminuye en el horizonte “B” aproximadamente de un 50% (INEGI 2012), con respecto al horizonte “A”, siendo éste último algo deficiente, además de tener un contenido regular de materia orgánica y ser deficiente en fósforo y potasio. Establecimiento de las parcelas y diseño experimental.

Preparación del terreno. Se preparó una superficie de 50 m de largo y 25 m de ancho, para lo cual se aplicó un herbicida sistémico para eliminar las malezas emergidas a razón de 1.5 litros ha¹ glifosato, para posteriormente trazar parcelas de 20 m² donde se sembraron las diez especies a evaluar: Mestizo, GP1467, Cobra, Mulato II, GP1435 (*Brachiaria* spp), Chontalpo (*B. Decumbens*), Insurgente (*Brachiaria Brizantha*) Chetumal (*Brachiaria Humidicola*). La Siembra. De las ocho especies de *Brachiaria*. Más Mombasa (*Panicum máximum*) y Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), esto se repitió en tres bloques con distribución de las especies forrajeras dentro de bloque completamente al azar, la siembra se realizó manualmente a chorrillo en surcos de cinco metros de largo por 50 cm de ancho, en total seis filas por parcela; esta actividad se efectuó en el mes de septiembre del 2018, en la época de lluvias. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, no se fertilizó.

Variables a medir: Número de hijuelos por planta. Para determinar el análisis de la variable se contó el número de hijuelos a tres plantas de cada parcela a fin de realizar su análisis estadístico. Altura de la planta. Para esto se tomó la altura en tres cepas considerando la parte apical de la hoja central en la parte intermedia y como base el suelo. Esta determinación se efectuó cada 14 días, hasta el establecimiento 110 días potsiembra, considerando el cuadro de 50 x 50 cm.

Producción de forraje de las especies en establecimiento. Se tomó una muestra del forraje en un cuadro de 50 X 50 m², se pesó y se determinó la materia seca en una estufa de aire forzado a 60 °C por 56 horas.

Cobertura de la planta. Se utilizó un cuadro de 50 x 50 cm. Se evaluó cada 22 días, hasta el establecimiento (110 días). Análisis estadístico. Las variables de respuesta se analizaron estadísticamente con el procedimiento GLM del programa estadístico SAS (2008), mediante el siguiente modelo:

$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + e_{ijkl}$ Donde,

y_{ijkl} = Variable respuesta

μ =Media general

α_i =Efecto del tipo de pasto en su nivel i

$(\alpha\beta)_{ij}$ =Efecto de la interacción $\alpha\beta$ en el nivel i,j

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de la interacción $\alpha\gamma$ en el nivel i,k

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de la interacción $\beta\gamma$ en el nivel j,k

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de la interacción $\alpha\beta\gamma$ en el nivel i,j,k

e_{ijkl} =Error aleatorio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de lomeríos presentan un alto potencial de producción, aún y cuando son castigados por problemas de erosión, y por lo tanto pérdida de nutrientes para un buen rebrote del forraje, lo que impide una buena respuesta en la producción animal.

Número de hijuelos por planta y Producción de forraje al establecimiento. El género de *Brachiaria* se caracteriza por ser una especie forrajera adaptada al trópico y principalmente a suelos marginales con pH ácido, los cuales son muy abundantes en los países de Sudamérica y México. Se desarrollan bien en altitudes de hasta 1,800 msnm. Requiere de sitios donde las precipitaciones estén en un rango de 1,500 a 4,000 mm anuales, se le considera resistente a la sequía, y puede soportar hasta por cuatro meses; sin embargo, existen dentro de este género especies que presentan mayor tolerancia a la sequía. Para el número de hijuelos por planta el género *Panicum* spp es quien destaca con 37.7 hijuelos con diferencia significativa ($P < 0.005$) respecto a las especies del genero *Brachiaria* (Cuadro 1). En pasto Taiwán es originario de Rodesia, África, es un híbrido producto de la cruce entre *Pennisetum purpureum* por *Pennisetum typhoides* (Burton, 1944; Citado por Granados 1998). Es de porte alto y crecimiento erecto, puede alcanzar alturas de más de cuatro metros, forma macollo o cepas, y llega a tener de 140 a 150 hijuelos/m², sus hojas miden de 30 a 120 cm de largo y de 1 a 5 cm de ancho. Los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de los más altos rendimientos reportados, concordando con



Silva (2009), que obtuvo con Mombasa más alta producción de MS que con Tanzania. Otra información muestra que el comportamiento del Estrella de África bajo diversos ambientes de clima y suelo en Tabasco. En primer término, se tiene que su rendimiento puede variar desde 4 hasta 26 t de MS ha⁻¹ año⁻¹, y los mayores rendimientos se tiene en suelos de alta fertilidad como son los fluósoles y en zonas con precipitaciones por arriba de 2,500 mm anuales tal es el caso del clima Af, (Meléndez, 2001). El *B. Humídicola*, dependiendo de la fertilidad del suelo y condiciones de clima y si es sometido principalmente a una fertilización con N, puede presentar por año producciones de forraje que varían de 7 a 32 t ha⁻¹ de MS. Bajo condiciones de fertilidad natural es posible obtener un promedio de 17 t ha⁻¹ de MS por año (Meléndez, 2012).

En este estudio los forrajes crecen más discretamente que en otros sitios, lo que se puede deber a adaptaciones fisiológica de las plantas, consecuencia de los elementos climáticos imperantes como las precipitaciones, radiación solar, días temperatura entres los más importantes, que obligan a producir cambios morfológicos en los pastos, tales como: reducción en el crecimiento de los tallos y aumento en la proporción de hojas, elementos característicos en el retraso de la madurez (Martínez *et al.*, 2010). El comportamiento al observar los cultivares *Brachiaria* estudiados coincide los resultados obtenidos por Granados *et al.*, (2020), quienes indican que entre varias accesiones de *Brachiaria* el GP1467 (*Brachiaria* spp) se adaptó más que el resto de los cultivares, reflejando de material vivo además de ser un forraje resistente a sombra y que resiste fuertemente las condiciones de suelos pobres de la sabana.

Cuadro 1.- Respuesta de las variables agronómicas al establecimiento en diez especies tropicales en Pichucalco, Chiapas

especie	hijuelos/cepa	Peso total de MS/0.25 m ²
Mombasa (<i>Panicum máximum</i>)	.77 ^a	0.225
Mestizo (<i>Brachiaria</i> SPP)	.44 ^c	0.215
GP1467 (<i>Brachiaria</i> SPP)	.33 ^a	0.300
Cobra (<i>Brachiaria</i> SPP)	.11 ^{cb}	0.246
Mulato II (<i>Brachiaria</i> SPP)	.77 ^c	0.224
GP1435 (<i>Brachiaria</i> SPP)	.55 ^{cb}	0.230
Decumbens (<i>Brachiaria</i> Decumbens)	.44 ^c	0.219
Brizantha (<i>Brachiaria</i> Brizantha)	.00 ^b	0.272
Humídicola (<i>Brachiaria</i> Brizantha)	.44 ^c	0.201
E. de África (<i>Cynodon Plectostachyus</i>)	.55 ^{cb}	0.237

Literales diferentes en columnas indican diferencia estadística (P < 0.05)

Para la variable altura Mombasa fue el más alto con 60 cm, a los 110 días (Figura 1) En tanto los pastos de crecimiento semi erectos y rastrero presentaron menor altura (P<0.001). Otro trabajo realizado en la región tropical (Rincón., 2011), indica que la edad de rebrote constituye uno de los factores de mayor influencia en el crecimiento. Por eso es importante conocer el comportamiento en el establecimiento de diferentes especies en esta región del trópico (Quiroz *et al.*, 1999). Un aspecto a tomar en cuenta al establecimiento, es la aplicación de la tecnología adecuada, ya que es la secuencia de un proceso de siembra, sin embargo, hay factores que se ven influenciados y afectan el crecimiento y por lo tanto influyen en un buen establecimiento (Granados *et al.*, 1998). A diferencia de la altura de planta donde el crecimiento presenta diferentes comportamientos a los 110 días, para el caso de cobertura ^a los 110 días no hubo diferencia estadística (P>0.05) (Figura 2). Granados *et al.* (2019), trabajando con *Urochloa* GP0423 reportan que, aunque hubo un comportamiento destacado para la fertilización 40 60 00, en todas las variables de respuesta no encontraron diferencia (P>0.05) en ninguna de las variables de estudio al establecimiento, esto les permitió recomendar esta fertilización como adecuada para el establecimiento del híbrido de *Urochloa*., dándose éste a los 75 días después de la siembra. A diferencia de este trabajo donde no se fertilizó y el establecimiento se dio a los 110 días. Existen especies forrajeras que muestran buen atributo) Mombasa fue quien tuvo mayor altura 60 cm, como se puede apreciar en la Figura 1. La información generada respecto al establecimiento de especies tropicales indica que la tasa de crecimiento absoluto de *Setaria* splendida (Pastos Miel) y *Brachiaria* híbrido VS Mulato en las condiciones de los ecosistemas amazónicos, en edades posteriores a los 100 días se evidencia un incremento acelerado de 2.58 y 2.32 cm día⁻¹, respectivamente; a partir del cual, crecen más discretamente lo que se puede deber



a adaptaciones fisiológica de las plantas, como consecuencia de los factores climáticos imperantes como las precipitaciones, radiación solar, días temperatura entre los más importantes, que obligan a producir cambios morfológicos en los pastos, tales como: reducción en el crecimiento de los tallos y aumento en la proporción de hojas, elementos característicos en el retraso de la madurez (Martínez et al., 2010). Situación que se logra observar en la mayoría de las especies que evaluamos. Reportan que, en condiciones de trópico subhúmedo en Costa Rica, el cultivar Toledo registro un promedio de altura de planta a cuatro meses después de establecidas de 73.5 cm. Esto coincide con las observaciones de Argel (2006), quienes indican que la amplia variabilidad natural del género *Brachiaria* ha permitido hacer diversos trabajos de selección con expectativas variadas. Por otro lado, Meléndez et al. (2020), al evaluar algunas variables agronómicas por durante la fase de establecimiento de los pastos Cobra, Mestizo, Mulato y Chontalpo, obtuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) para la altura de planta en un primer muestreo, reportando mayor altura en Cobra con 24.5 cm, y la menor altura para Mestizo con 20.5 cm. En el segundo muestreo la mayor altura para Cobra con 17.7 cm y la menor Mulato con 11.7 cm, sin embargo, en esa evaluación, estadísticamente todos resultaron similares en altura, el comportamiento agronómico resultó similar en este trabajo no habiendo diferencia entre las dosis evaluadas, tanto Cobra como Mestizo, tiendan a tener una altura mayor que Mulato, debido a que estos dos pastos presentan un habito de crecimiento más erecto que decumbente, lo anterior se puede constatar en la información que presenta Meléndez (2012) y la misma tendencia la presenta el pasto Camello de acuerdo a la altura reportada.

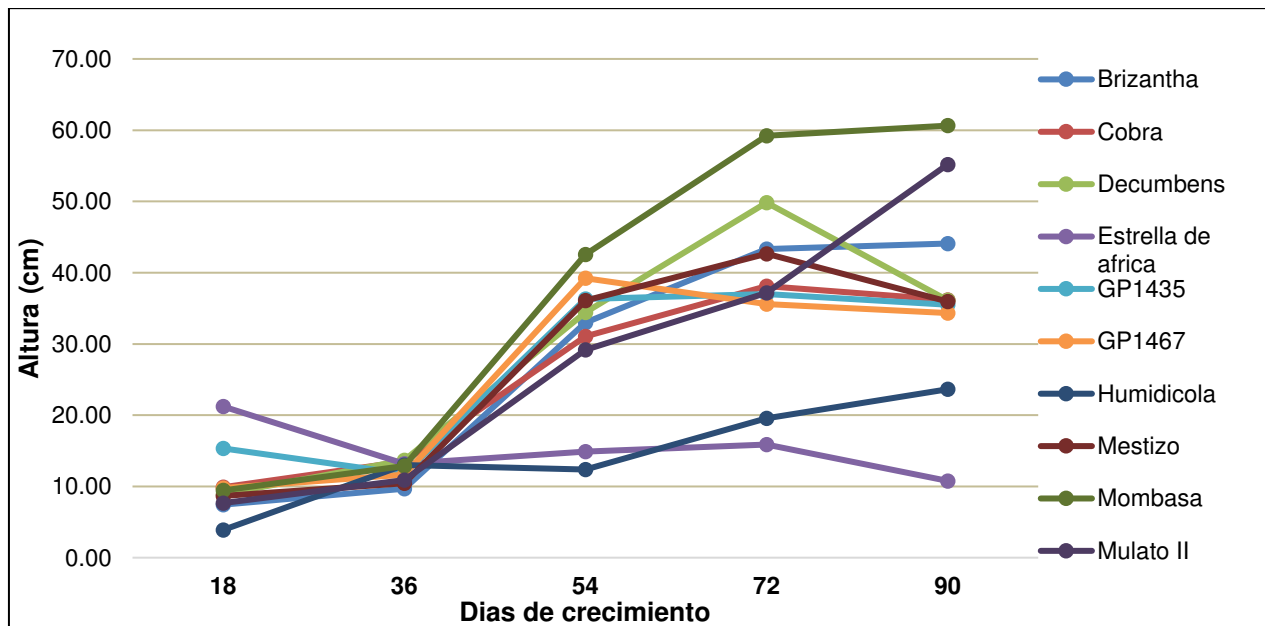


Figura 1. Altura al establecimiento de gramíneas de recién introducción en suelos de lomeríos.

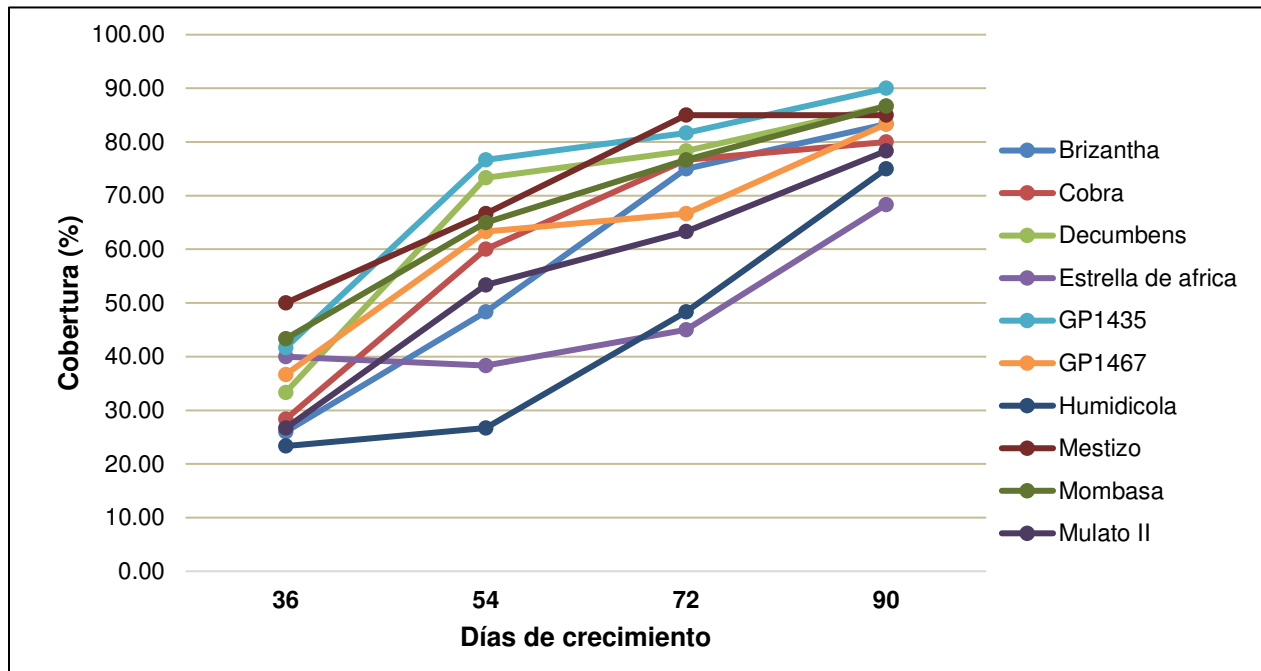


Figura 2. Cobertura al establecimiento de gramíneas de recién introducción en suelos de lomeríos.

Cobertura de las diez especies forrajeras evaluadas. Un aspecto a tomar en cuenta al establecimiento, es la aplicación de la tecnología adecuada, ya que es la secuencia de un proceso de siembra, sin embargo, hay factores que se ven influenciadas y afectan el crecimiento y por lo tanto influyen en un buen establecimiento independientemente a la especie forrajera (Granados et al., 1998). A diferencia de la altura de planta donde el crecimiento presenta diferentes comportamientos a los 110 días según datos de este trabajo, para el caso de cobertura Mombasa, Decumbens y GP 1435 obtuvieron las mayores coberturas (Figura 2). Granados et al. (2019), trabajando con *Urochloa* GP0423 reportan que aunque hubo un comportamiento destacado para la fertilización 40 60 00, en todas las variables de respuesta no encontraron diferencia ($P > 0.05$) en ninguna de las variables de estudio al establecimiento, esto les permitió recomendar esta fertilización como adecuada para el establecimiento del híbrido de *Urochloa*, dándose éste a los 75 días después de la siembra. A diferencia de este trabajo donde no se fertilizó y el establecimiento se dio a los 110 días. Figura 2. Porcentaje de cobertura de diez especies forrajeras durante el proceso de establecimiento, literales diferentes entre especies indican diferencia ($P < 0.001$), el comportamiento indica que las especies evaluadas conforme fueron llegando a los 110 días se fueron comportando de manera similar, sin embargo, durante el proceso se entrelazaron en el crecimiento. En trabajo efectuado por (Granados et al., 2020b), indica que trabajando con pasto camello en suelos ácidos de Huimanguillo, el establecimiento se logró a los 90 día, periodo considerablemente corto considerando que son suelos marginales y el trabajo de establecimiento fue en la época de nortes, continúan diciendo en esta época de evaluación existe mayor nubosidad lo que limita la fotosíntesis, sin embargo se fertilizó los niveles de fertilización en este trabajo con Camello presentaron la mejor respuesta respecto al testigo ($P < 0.05$), no habiendo diferencia entre las dosis evaluadas.

CONCLUSIÓN

El comportamiento del forraje Mombasa destaca en cuanto a número de hijuelos y altura de planta, mientras que para el género *Brachiaria* las variedades GP1467, GP1435 y Brizantha fueron las que mostraron una mejor respuesta..

LITERATURA CITADA

Améndola M., R. D. 2009. Especies forrajeras disponibles en México. In: Memorias de Primer Congreso Internacional del Borrego. 16 p.



- Acosta H. E, Granados Z. L. Granados R. LD, López N. I. Peregrino M. M. 2021. Efecto de la fertilización y la edad de rebrote en la calidad nutricional de tres pastos tropicales en Huimanguillo, Tabasco. Universidad Popular de la Chontalpa. Zootecnia 32 p.
- Argel, P. J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganaderas en sistemas de doble propósito. CIAT. San José, Costa Rica. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal.14 (2): 65-72.
- Cuadrado, H., Torrogrosa, L., Garces, J. 2005. Producción de carne con machos de ceba en pastoreo del pasto híbrido Mulato y *B. decumbens* en el valle del Sinú. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Informe mimeografiado. 9 p.
- Enriquez QJF, Bolaños EDA (1999) Tecnología para la producción y manejo de forraje tropical en México. INIFAP Papaloapan, Veracruz, México 262pp.
- Espín, G. E. 2012. Estudio del comportamiento agronómico del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido) a la aplicación de programas de fertilización edáficos, en la zona de Echeandía, provincia de Bolívar. Tesis de grado Ingeniero Agropecuario. 37 p.
- Granados Z. L. Salaya C. E. Guiot G. J. D. Quiroz V. J. Jiménez O. M. M. Castillo L. E. B. 2020a. Características agronómicas del pasto camello (*urochloa* spp.) En suelos ácidos de Tabasco. II Congreso Internacional en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. Retos y Experiencias para lograr la Soberanía Alimentaria y Sustentabilidad.
- Granados Z. L., Bravo M. E.², Guiot G. J. D, Quiroz V. J.¹, Jiménez O. M. M., Castañeda R. O. Ibarra P. J. C y Castillo L. E. B¹. (2020)b. Establecimiento de especies forrajeras tropicales de reciente introducción en suelos de lomerío en pichucalco, chiapas. II Congreso Internacional en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. Retos y Experiencias para lograr la Soberanía Alimentaria y Sustentabilidad. Guenni, O., Gil, J. L. Guedez, Y. 2005. Growth, forage yield and light interception and use by stands of five *Brachiaria* species in tropical environment grassland 39; 44-53.
- Granados Z. L., Espinosa G.J.A. y Silva L.M. 1998. El pasto Taiwán, una opción para intensificar la ganadería bovina en los estados de Tabasco y Veracruz. En: XI Reunión Científica, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria. Villahermosa, Tabasco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestal, Agrícola y Pecuaria. pp: 96.
- Granados Z. L., Guiot G. J., Quiroz V. J., Barrón A M., Oliva-Hernández J., Jiménez O. M. M., May A. H. J. 2019. Establecimiento y fertilización en pasto GP0423 en suelos fluvisoles de Huimanguillo, Tabasco. XXXI Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2019 y VIII Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical 6, 7 y 8 de noviembre, Villahermosa, Tabasco, México
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Anuario Estadístico Tabasco.
- Juárez-Hernández, J. y Bolaños-Aguilar, E.D. 2007. Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. Universidad y Ciencia. 23: 81-90.
- Martínez R O, Tuero R, Torres Verena, Herrera RS. 2010. Models of biomass accumulation and quality in varieties of elephant grass, Cuba CT-169, OM – 22 and king grass during the rainy season in the western part of Cuba. Cuban J. Agric.Sci; 44 (2):189-193.
- Melendez N. F. Morales, L. Guiot-García J.D. (2020). Establecimiento de cuatro especies forrajeras tropicales del género *urochloa* en suelos de lomerío en ostoacan, chiapas. Retos y experiencias para lograr la soberanía alimentaria y sustentabilidad .
- Melendez N. F. Morales, L. Guiot-García J.D. (2020). Establecimiento de cuatro especies forrajeras tropicales del género *urochloa* en suelos de lomerío en ostoacan, chiapas. Retos y experiencias para lograr la soberanía alimentaria y sustentabilidad .
- Meléndez N.F. 2012 Principales Forrajes Para El Trópico. Universidad Popular De La Chontalpa. Cárdenas Tabasco, México. Gobierno del estado de Tabasco, 426 p.
- Rincón A. 2011. Efecto de alturas de corte sobre la producción de forraje de *Brachiaria* sp. en el piedemonte llanero de Colombia. Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria 12:107– 112. 10.21930/rcta.vol12_num2_art:219
- SAS. 2008. Institute Inc. User's guide. Statistics. (Version 9.2) Sixth edition. SAS Inc. Cary. North Carolina. USA.
- Silva, V. V. J. 2009. Evaluación de pastos promisorios *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Panicum maximum* en la finca "Buena fe" Parroquia 10 de agosto". Tesis de grado en Ingeniería Agropecuaria. Universidad estatal amazónica, Ecuador.



Sección F: Manejo y Conservación de Recursos Naturales



MODELOS DE VOLUMEN TOTAL ÁRBOL PARA LAS PRINCIPALES ESPECIES DE CONÍFERAS EN PUEBLA, MÉXICO

TOTAL TREE VOLUME MODELS FOR THE MAIN CONIFER SPECIES IN PUEBLA, MEXICO

¹Tamarit Urias JC, ²Monárrez González JC, ³García Cuevas X y ⁴Hernández Ramos A

- ¹Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC) del INIFAP. Carretera Federal México-Puebla km 56.5, CP 74100. Tlahuapan, Puebla, México.
²Centro de Investigación Regional Norte Centro (CIRNOC) del INIFAP. Carretera Durango-Mezquital km 4.5, CP 34170, Durango, Durango., México.
³Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE) del INIFAP. Carretera Chetumal-Bacalar km 25, CP 77930, Chetumal, Quintana Roo, México.
⁴Centro de Investigación Regional Noreste (CIRNE) del INIFAP. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119, CP 25315, Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Autor para correspondencia: tamarit.juan@inifap.gob.mx

RESUMEN

En México, la normativa forestal vigente establece que los programas de manejo para aprovechamiento maderable deben indicar el volumen total árbol por taxón, con ello se gestiona la autorización respectiva ante la instancia competente. En este contexto, en Puebla para estimar el volumen referido, aún se utilizan modelos generados en 1978, por lo que a 43 años de distancia es prioritario que se disponga de modelos de volumen actualizados que realicen estimaciones con certidumbre. El objetivo fue ajustar modelos de volumen total árbol con corteza para las principales especies de coníferas que se aprovechan comercialmente en Puebla, México. Se procesaron las variables diámetro normal (Dn, cm), altura total (At, m) y volumen total árbol (Vta, m³) de una muestra de 1,393 árboles de ocho especies del género *Pinus* y *Abies religiosa*, colectada en cuatro unidades de manejo forestal. Cada árbol fue derribado y seccionado desde el tocón hasta la punta, las ramas cuyo diámetro basal fue \geq a 5 cm también se seccionaron. El volumen de estas secciones por árbol se calculó con fórmulas de cuerpos dendrométricos. El volumen de las ramas cuyo diámetro basal fue $<$ a 5 cm, se estimó mediante una relación peso - volumen de árboles muestra por categoría diamétrica. El volumen total árbol se obtuvo con la sumatoria de los volúmenes del fuste y ramas. La información por especie se utilizó para ajustar por regresión el modelo de volumen no lineal tipo Schumacher-Hall y se corrigió la heterocedasticidad. Los modelos obtenidos presentaron calidad de ajuste alta con valores en el R^2_{adj} de 0.96 a 0.99 y sesgos de -0.0016 a 0.0517 m³. Estos nuevos modelos son precisos y confiables para realizar inventarios maderables operativos que contribuirán al manejo técnico, conforman herramientas cuantitativas básicas para usarse de manera directa o para generar tablas de volumen clásicas.

Palabras clave: *inventario maderable, normatividad forestal, Pinus sp., Abies religiosa, Schumacher-Hall.*

INTRODUCCIÓN

La variable de mayor importancia para los propietarios de los bosques es el volumen maderable a nivel de árbol individual y por unidad de superficie, esto es así porque les representa valor e ingresos económicos en las operaciones de compra-venta. Por tanto, la cuantificación precisa del volumen es fundamental (Rondeux, 2010; Raptis *et al.*, 2020). El uso de modelos matemáticos derivados de relaciones alométricas es la base científica y el método común para estimar el volumen maderable, con ello se coadyuva a la planificación y gestión forestal (Prodan *et al.*, 1997; Corral *et al.*, 2017). De esta manera, los modelos de volumen son herramientas básicas para efectuar inventarios maderables de manera fácil, rápida y fiable. Al cuantificar las existencias maderables con certidumbre se pueden tomar decisiones fundamentadas para orientar mejores prácticas de manejo silvícola y el aprovechamiento sostenido de las masas forestales (Ramos *et al.*, 2014; Ramírez *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018).



En la elaboración, autorización y ejecución de programas de manejo para realizar aprovechamientos maderables, la normativa forestal vigente de México establece que se debe de reportar el volumen total árbol (*Vta*), el cual comprende el volumen de madera y corteza del árbol que incluye el fuste, punta y ramas (SEMARNAT, 2008). Para cumplir con este requerimiento, es necesario disponer de modelos que efectivamente estimen el *Vta* de los árboles individuales en pie. En este tipo de funciones la variable dependiente, el *Vta*, está en función de variables independientes como el diámetro normal y la altura total del árbol, las cuales son fáciles y rápidas de medir en campo mediante sitios de muestreo para realizar un inventario forestal (Romahn *et al.*, 1994; Prodan *et al.*, 1997). Aun cuando la madera contenida en el fuste es la de principal interés, el material de las ramas tiene uso en forma de productos secundarios tal como material celulósico, astilla, material dendroenergético (leña y carbón), entre otros; razón por lo que es necesario se cuantifique su volumen para que con ello se determine su valor comercial (VerPlanck y MacFarlane, 2014; Corral *et al.*, 2017).

De los 46 taxones del género *Pinus* que se reportan para México, el 60% tiene importancia comercial porque conforman los bosques naturales más importantes del territorio (Sánchez, 2008). En tanto, *Abies religiosa* (oyamel), en términos de producción maderable, después del género *Pinus*, es la conífera más importante en aprovechamientos maderables en el territorio nacional. De acuerdo con la SEMARNAT (2020), la producción maderable nacional para el 2017 fue de 9.01 millones de metros cúbicos rollo (m^3r), de los cuales el 70.9 % (6.38 millones de m^3r) correspondió a especies del género *Pinus* y el 2.5 % (225,688 m^3r) fue aportado por *A. religiosa*. En el contexto estatal, para Puebla en ese mismo año se reportó una producción de 359,269 m^3r , de los cuales el 70.4 % (253,098 m^3r) fueron de especies del género *Pinus* y el 17.4 % (62,558 m^3r) fueron de oyamel, esta producción en conjunto representó para esta entidad federativa un valor de 313.03 millones de pesos. Las cifras referidas revelan que los géneros *Pinus* y *Abies* son los de mayor importancia maderable y más alto potencial económico.

Ante la importancia y el contexto señalados, es fundamental que se generen herramientas cuantitativas que apoyen el manejo técnico de estos dos grupos de coníferas. Sin embargo, para Puebla se carece de modelos actualizados que estimen con certidumbre el volumen total árbol para cada taxón. En este sentido, el objetivo del presente estudio fue ajustar modelos de volumen total árbol para nueve especies de coníferas que se aprovechan comercialmente en bosques naturales del estado de Puebla, México. Los nuevos modelos serán de gran utilidad para realizar inventarios maderables más precisos, así como para elaborar y ejecutar programas de manejo forestal para aprovechamiento maderable en acato a la normatividad forestal vigente, por lo que podrán sustituir a los desarrollados por la SARH (1978).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio para generar los modelos de *Vta* comprendió cuatro Unidades de Manejo Forestal (UMAFOR): 2101 "Izta-Popo", 2103 "Teziutlán", 2105 "Centro - Pico de Orizaba" y 2108 "Chignahuapan - Zacatlán" del estado de Puebla, México. Se procesó una muestra de 1,393 árboles de ocho especies del género *Pinus*, además de *A. religiosa* (Cuadro 1). La muestra estuvo integrada por árboles de diferentes categorías de diámetro y de altura, los cuales fueron seleccionados en diferentes frentes de corta de predios forestales que tienen bosques bajo aprovechamiento con programa de manejo forestal autorizado.

Cuadro 1. Muestra de árboles procesada por especie de conífera en cuatro UMAFOR's de Puebla.

Especie	Número de árboles
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	300
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	228
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	172
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl.	162
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl.	141
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	80
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. & Cham.	52



<i>Pinus rudis</i> Endl.	33
<i>Abies religiosa</i> (Kunth Schtdl. et Cham.)	225
Muestra total	1,393

La información de interés se colectó mediante un método destructivo que consistió en que a cada árbol seleccionado se le midió en pie el diámetro normal (Dn, cm) con cinta diamétrica marca Forestry Suppliers, posteriormente se derribó, seccionó y desramó. Sobre el fuste se tomaron y registraron mediciones de diámetros con corteza en centímetros y las respectivas longitudes (L) en metros, para ambos casos se utilizó un flexómetro de 5 metros marca Stanley®. Las mediciones en el fuste se registraron desde la base del árbol, a la altura del tocón, a los 30 cm y 60 cm posteriores a este y a 1.3 m que corresponde al Dn. A partir del Dn y hasta la altura total las secciones posteriores fueron de 2.5 m. Para cada árbol se obtuvo el valor de las dimensiones de Dn y altura total (At, m). El Cuadro 2 presenta un resumen de los estadísticos descriptivos básicos de estas variables.

Cuadro 2. Estadísticos básicos de las variables diámetro normal y altura total de la muestra de árboles utilizada por especie.

Especie	Diámetro normal (cm)				Altura total (m)			
	Máx	Media	Mín	DE	Máx	Media	Mín	DE
<i>P. montezumae</i>	89.3	47.8	6.8	20.8	49.3	26.2	3.9	8.8
<i>P. patula</i>	88.5	43.1	5.5	20.0	40.6	24.8	7.6	7.0
<i>P. pseudostrubus</i>	123.0	51.5	9.0	20.3	43.0	28.1	6.8	7.1
<i>P. teocote</i>	75.0	40.0	8.0	16.4	40.1	22.3	5.9	7.3
<i>P. ayacahuite</i>	97.4	54.6	8.3	22.7	49.3	30.5	8.6	7.9
<i>P. hartwegii</i>	96.0	54.7	9.5	24.9	45.0	29.9	10.4	8.5
<i>P. leiophylla</i>	70.0	42.3	11.0	15.6	34.5	26.3	7.7	7.5
<i>P. rudis</i>	66.5	33.7	10.0	17.6	31.5	19.4	7.1	6.7
<i>A. religiosa</i>	94.0	47.4	5.5	20.4	40.2	27.5	4.4	7.9

Máx: máximo, Mín: mínimo, DE: desviación estándar.

Las ramas de cada árbol se clasificaron en gruesas y delgadas, las primeras correspondieron a aquellas cuyo diámetro a la base fue ≥ 5 cm y las segundas cuando tal diámetro fue < 5 cm. Las ramas gruesas se seccionaron en largos de 2 m hasta la punta, a estas secciones de cada rama se les midió y registró los diferentes diámetros, incluido el diámetro a la base y las respectivas longitudes.

La cubicación del volumen (v) de cada sección por árbol, tanto del fuste como de las ramas gruesas, se calculó con las fórmulas de los diferentes tipos dendrométricos (Romahn *et al.*, 1994) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Fórmulas de cuerpos dendrométricos usadas para cubicar las secciones de los árboles.

Parte del árbol	Cuerpo dendrométrico	Fórmula
Tocón	Truncado de neiloide	$v = \frac{L}{4} \left(S_0 + S_1 + \sqrt[3]{S_0 S_1} \left(\sqrt[3]{S_0} + \sqrt[3]{S_1} \right) \right)$
Secciones del fuste y ramas gruesas	Truncado de paraboloides apolónicas	$v = \left(\frac{A_0 + A_1}{2} \right) L$
Punta del fuste	Paraboloides apolónicas	$v = \frac{A_0 L}{2}$

V: volumen (m^3); A_0 , A_1 , A_m : áreas de las secciones menor, mayor y media (m^2), respectivamente; S_0 y S_1 : área mayor y menor (m^2); L: Longitud (m).



El procedimiento para obtener el volumen de las ramas delgadas (v_{rd}) consistió primeramente en tomar un árbol muestra por clase diamétrica (CD) de 10 cm; posteriormente, a todo el conjunto de este tipo de ramas de cada árbol se le registró el peso (kg); después, de cada árbol muestra se extrajo una rama de la parte alta, media y baja de la copa, a las que se les registró el peso y enseguida se les determinó el volumen respectivo mediante la técnica del xilómetro (desplazamiento por inmersión en depósito de agua) (Figueiredo *et al.*, 2000). Finalmente, se obtuvo una relación peso-volumen, por lo que, al conocer el peso total de ramas por árbol, fue posible determinar el volumen total de ramas delgadas para cada árbol muestra. Se conformó una base de datos a nivel de género, para *Pinus* se utilizó la información de 134 árboles muestra por CD y para *Abies* de 31 árboles. La información del volumen de estas ramas se relacionó con el respectivo diámetro normal de cada árbol muestra por CD. Para ello, después de evaluar el ajuste de diferentes modelos alométricos, se determinó que el modelo de tipo potencial de la forma $v_{rd} = b_0 Dn^{b_1}$ (Loetsch *et al.*, 1973), fue el que mejor se ajustó por regresión estadística a los datos observados. De esta manera fue posible determinar el volumen de este tipo de ramas para cada uno de los 1,393 árboles que integraron la muestra total.

El volumen total árbol (Vta) con corteza en m^3 por ejemplar se obtuvo por la sumatoria del volumen de las diferentes secciones del fuste (tocón, fuste y punta) más el volumen de las ramas gruesas y delgadas. Con los valores de las variables de diámetro normal, altura total y el volumen total árbol se conformó para cada especie una base de datos, las cuales se auditaron mediante inspección gráfica acerca de la dispersión de datos y se verificó que se presentarán comportamientos lógicos.

Se realizó un análisis de regresión preliminar en el que se evaluó la calidad de diferentes modelos de volumen, el cual evidenció que el de Schumacher-Hall (1933) en su versión no lineal fue el de mejor ajuste, razón por la que este modelo se utilizó para aplicarlo a los datos de volumen total árbol de las especies estudiadas. Este modelo tiene la estructura matemática $Vta = B_0 Dn^{B_1} At^{B_2}$, en donde B_i son los parámetros a estimar. Este mismo modelo ha sido reconocido por su alta calidad predictiva y utilizado en otros trabajos de volumen en diferentes especies de coníferas y latifoliadas, como el de Ramos *et al.* (2014), Simental *et al.* (2017) y Vargas *et al.* (2017), también fue utilizado en su versión linealizada por la SARH (1978) para especies maderables de Puebla. Tamarit *et al.* (2017) después de evaluar la calidad de ajuste de diferentes modelos de volumen, refieren que el modelo no lineal de Schumacher-Hall presentó la mejor calidad de ajuste en términos de mayor precisión y menor sesgo.

El ajuste del modelo de Schumacher-Hall se realizó mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios no lineales con el procedimiento Model del paquete estadístico SAS/ETS® (Statistical Analysis System Institute Inc., 2011) versión 9.3. El problema de heterocedasticidad se corrigió al asumir que la varianza del error del volumen (σ^2_i) está en función y es directamente proporcional a la función potencia de la variable combinada definida como $\sigma^2_i = (Dn^2At)^y$, esto supone que la varianza del error se incrementa a medida que aumenta tal variable, razón por la que se utilizó el factor de ponderación definido por el inverso $(1/Dn^2At)^y$. El valor del término de potencia y se obtuvo por regresión lineal al usar los errores al cuadrado obtenidos con el modelo sin ponderar ($\hat{\epsilon}_i$) como variable dependiente en el modelo de la varianza del error (Harvey, 1976; Huang *et al.* 1992; Parresol, 1993; Quiñonez *et al.*, 2018), por lo que se expresó en la forma $\hat{\epsilon}^2 = \theta(Dn^2At)^y$. Así, el modelo de volumen se ajustó nuevamente junto con la función de ponderación especificada en SAS mediante la opción $\text{resid.y} = \text{resid.y} / ((Dn^2At)^y)^{0.5}$, en donde “y” corresponde a la variable dependiente referida como el Vta .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo alométrico potencial también denominado modelo de Berkhout (Prodan *et al.*, 1997) ajustado para estimar el volumen de ramas delgadas (v_{rd}) para *Pinus* y *Abies* se presenta en el Cuadro 4, este modelo es sencillo y práctico porque únicamente requiere como variable independiente al valor del diámetro normal con corteza, lo cual es ventajoso frente a modelos que usan dos o más variables independientes. El alto poder predictivo de este modelo ha sido puesto de manifiesto para estimar el volumen fustal en función solo del Dn de coníferas mexicanas por Valencia (2013) para árboles de *Pinus douglasiana* Martínez y *P. oocarpa* Schiede en El Salto, Durango; por Nava y Antúnez (2018) en árboles



de *P. patula* en Santiago Comaltepec, Oaxaca y por Ramírez *et al.* (2018) para ejemplares de *P. ayacahuite* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. También ha sido seleccionado para el mismo propósito en especies latifoliadas de México por Cruz *et al.* (2016) para estimar volúmenes en *Arbutus* spp. de Pueblo Nuevo, Durango y por Silva *et al.* (2018) para *Prosopis articulata* S. Watson y *Lysiloma divaricata* (Jacq.) J. F. Macbr. en la Unidad de Manejo Forestal 303 de Baja California Sur. La calidad de ajuste obtenida para este modelo y los contrastes referidos sugieren que brinda alta certidumbre para estimar el volumen de ramas cuyo diámetro basal es < 5 cm.

Cuadro 4. Valores estimados de los parámetros y estadístico de ajuste del modelo alométrico potencial ajustado para estimar el volumen de ramas delgadas en *Pinus* y *Abies* en Puebla.

Conífera	Parámetro	Valor estimado	Significancia	R ² _{adj}
<i>Pinus</i>	b ₀	0.000296	<0.0001	0.89
	b ₁	1.741600	<0.0001	
<i>Abies</i>	b ₀	0.000781	<0.0001	0.95
	b ₁	1.562000	<0.0001	

R²_{adj}: coeficiente de determinación ajustado.

En ambos géneros el v_{rd} aumenta en forma lógica conforme aumenta el Dn del árbol. El comportamiento gráfico también es consistente en el sentido que tal volumen es mayor en *Abies* que en las especies de pino, puede llegar a alcanzar en promedio en la CD de 75 cm un volumen de hasta 0.55 y 0.66 m³, respectivamente (Figura 1).

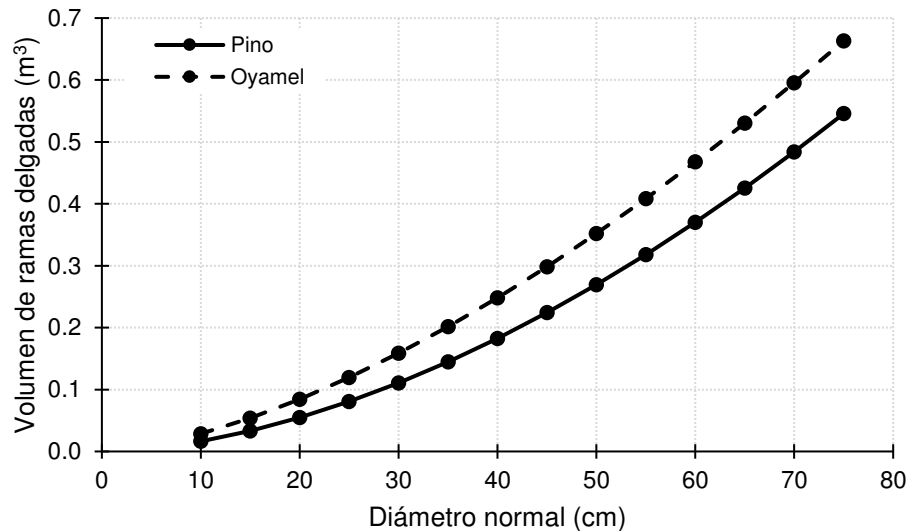


Figura 1. Comportamiento gráfico de la estimación del volumen de ramas delgadas con el modelo alométrico potencial para árboles de pinos y oyamel en Puebla, México.

El ajuste del modelo de Schumacher-Hall en su versión no lineal para V_{ta} por especie se presenta en el cuadro 5, en donde se observa que todos los parámetros fueron altamente significativos ($\alpha=0,05$); además, en todos los casos los valores del R²_{adj} fueron mayores a 0.96 y los sesgos están en un intervalo de -0.0016 a 0.0517 m³, lo cual demuestra una alta calidad de ajuste y capacidad predictiva para los taxones estudiados. Este modelo en su forma no lineal o linealizada frecuentemente es señalado en investigaciones nacionales y extranjeras como el mejor para estimar el volumen fustal y el volumen total árbol. En México, la SARH (1978) lo utilizó en su forma linealizada para estimar el volumen fustal de coníferas y latifoliadas que crecen en Puebla con R²_{adj} de 0.99; Ramírez *et al.* (2016) lo seleccionaron como el mejor para determinar el volumen fustal de *P. ayacahuite* en la región de Ixtlán de Juárez, Oaxaca con valores de R²_{adj} y de sesgo de 0.99 y -0.0055 m³, respectivamente; Vargas *et al.* (2017) lo reportan para estimar el volumen total árbol para taxones de coníferas en Puebla con R²_{adj} superiores a



0.92. Tamarit *et al.* (2019) también lo usaron en su forma no lineal para generar un sistema de cubicación compatible para estimar volumen fustal y comercial a nivel de árbol individual para *Q. laurina* y *Q. rugosa* de las UMAFORES 2101 y 2108 de Puebla, con R^2_{adj} de 0.97 y sesgo de 0.0067 m³; por su parte, Guzmán *et al.* (2020) lo seleccionaron para estimar el Vta de *A. religiosa* en Jalisco, Puebla y estado de México con R^2_{adj} de 0.96 y sesgos menores a 0.0375 m³.

Cuadro 5. Parámetros estimados y estadísticos de ajuste del modelo no lineal de Schumacher-Hall para predecir el volumen total árbol de árboles para nueve especies de coníferas de Puebla.

Especie	Parámetro	Estimador	EE	R^2_{adj}	Sesgo
<i>P. montezumae</i>	B ₀	0.000174	0.0000143	0.98	0.0058
	B ₁	2.094352	0.0396030		
	B ₂	0.507474	0.0510440		
<i>P. patula</i>	B ₀	0.000088	0.0000114	0.97	0.0007
	B ₁	1.959633	0.0363520		
	B ₂	0.813863	0.0615630		
<i>P. pseudostrobus</i>	B ₀	0.000246	0.0000149	0.97	0.0517
	B ₁	2.018488	0.0246400		
	B ₂	0.464369	0.0351950		
<i>P. teocote</i>	B ₀	0.000172	0.0000147	0.97	0.0063
	B ₁	1.928221	0.0342350		
	B ₂	0.672886	0.0443710		
<i>P. ayacahuite</i>	B ₀	0.000185	0.0000223	0.98	0.0100
	B ₁	1.881747	0.0405170		
	B ₂	0.670551	0.0726100		
<i>P. hartwegii</i>	B ₀	0.000170	0.0000230	0.96	0.0419
	B ₁	2.301601	0.0710470		
	B ₂	0.268374	0.0877620		
<i>P. leiophylla</i>	B ₀	0.000109	0.0000219	0.98	-0.0016
	B ₁	1.922763	0.0669610		
	B ₂	0.825071	0.0949350		
<i>P. rudis</i>	B ₀	0.000221	0.0000215	0.99	0.0046
	B ₁	1.815725	0.0312640		
	B ₂	0.735886	0.0547600		
<i>A. religiosa</i>	B ₀	0.000162	0.0000208	0.99	0.0031
	B ₁	2.082967	0.0525330		
	B ₂	0.453427	0.0396900		

EE: error estándar; R^2_{adj} : coeficiente de determinación ajustado.

En el extranjero, Santos *et al.* (2018) refiere que el modelo de Schumacher-Hall en la modalidad no lineal fue el mejor (R^2_{adj} de 0.98 y sesgo de 0.00018 m³) para estimar el volumen fustal de árboles de *Khaya anthotheca* (Welw.) C. DC. establecidos en sistemas agroforestales del noreste de Brasil; así mismo, Mundo *et al.* (2019) lo calificaron como el mejor (R^2_{adj} de 0.99 y sesgo de 0.0001 m³) para estimar el volumen fustal en árboles de *Populus x canadensis* establecidos en plantaciones de Mendoza, Argentina. De modo similar, Costa *et al.* (2020) refieren que este modelo en versión linealizada fue el más apropiado (R^2_{adj} superior a 0.92) para estimar el volumen total de taxones de diferentes tipos de bosques de la región atlántica de Brasil. Los resultados y contrastes presentados ratifican la



superioridad predictiva de este modelo y se confirma la alta certidumbre que ofrece para predecir el volumen total árbol.

El Vta estimado con el modelo de Schumacher-Hall ajustado a las especies mantiene una consistencia lógica con respecto a los que estima el mismo modelo en su versión linealizada reportado por la SARH (1978) para las mismas especies y entidad. A manera de ejemplo a cerca del comportamiento gráfico de las estimaciones que realizan, la Figura 2 muestra que para algunos taxones ambos modelos mantienen una tendencia similar hasta los 40 cm de diámetro normal, después los nuevos modelo tienden a ser ligeramente más optimistas; resalta *P. montezumae* y *P. hartwegii* cuyas diferencias son más acentuadas. Para propósitos prácticos, el comparativo se basó en asumir un árbol de 20 m de altura para diferentes categorías de diámetro normal. Es relevante señalar que para estimar el Vta, a los volúmenes de los modelos de la SARH (1978) se les agregó un 20% adicional que corresponde al volumen de ramas, esto porque tales modelos estiman solo el volumen fustal, por lo que por convención y para efectos operativos, es común que en la elaboración de programas de manejo, los técnicos forestales en Puebla agreguen tal porcentaje, lo cual es aprobado por la autoridad competente. La diferencia con respecto a los nuevos modelos es que estos estiman de manera directa el Vta. Se determinó que el porcentaje del volumen de ramas (gruesas y delgadas) con respecto al Vta varió en función de la especie; así, el menor porcentaje correspondió a *P. teocote* con el 16.2% y el mayor fue para *A. religiosa* con el 24.0%, el promedio general fue del 18.1 %, el cual es cercano al valor del 20% que se usa de manera empírica en Puebla.

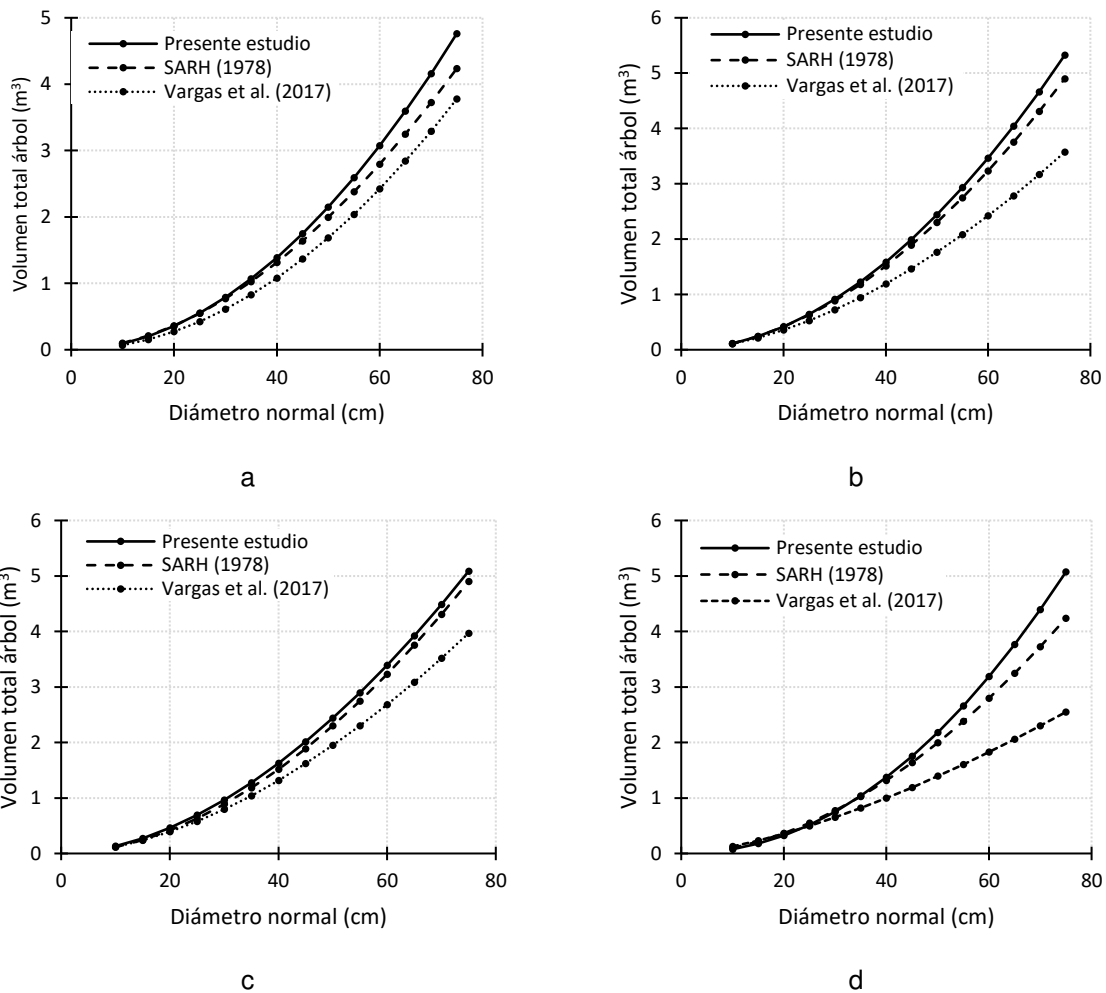




Figura 2. Comparativo del volumen total árbol que genera el modelo de Schumacher-Hall para *P. patula* (a), *P. teocote* (b), *P. rudis* (c) y *A. religiosa* versus los que estiman otros estudios.

En contraparte, el mismo comparativo evidenció que los modelos consignados en la plataforma de consulta en línea SiBiFor por Vargas *et al.* (2017) para las mismas especies y entidad, aun cuando estiman el Vta en forma directa a nivel de UMAFOR, estos consistentemente tienen la tendencia a subestimarlos (Figura 2), tal comportamiento puede deberse en parte a que metodológicamente en aquel estudio solo consideraron el volumen de ramas gruesas cuyo diámetro basal fue ≥ 5 cm, en tanto que en la presente investigación, adicionalmente se cuantificó y tomó en cuenta el volumen de todas las ramas delgadas cuyo diámetro basal fue < 5 cm, razón por la que aquellos modelos estiman un aparente Vta, en tanto que los modelos que aquí se proponen si estiman el verdadero Vta. La implicación de subestimar el Vta es que no es posible acreditar la legal procedencia mediante documentación oficial del volumen faltante (leña y celulósico), el cual quedaría en campo sin la posibilidad de extraerlo y comercializarlo.

Con base en los resultados y la discusión expuesta, los nuevos modelos desarrollados atienden y cumplen a cabalidad la normatividad forestal vigente establecida por la SEMARNAT (2008) a través de la Norma Oficial Mexicana 152 (NOM-152-SEMARNAT-2006), en el sentido de que, para elaborar, autorizar y ejecutar programas de manejo forestal para aprovechamiento maderable, se debe de indicar el volumen total árbol a extraer por taxón, lo cual incluye el volumen fustal con su respectiva punta y el volumen de todas las ramas.

Los nuevos modelos pueden utilizarse de manera directa para estimar el volumen total árbol por especie a partir de la información de diámetro normal y altura total que se colecta para cada árbol al levantar sitios de muestreo para realizar inventarios maderables con propósitos operativos y de manejo técnico. También pueden utilizarse en la forma convencional que consiste en generar las clásicas tablas de volumen total árbol con corteza por especie de doble entrada; en este sentido, para efectos ilustrativos, el cuadro 6 muestra un ejemplo de una tabla de Vta obtenida a partir del modelo que corresponde al taxón *P. patula*.

Cuadro 6. Tabla de volumen total árbol con corteza para árboles de *P. patula* en Puebla, México.

CD	Clase de altura total (m)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
5	0.0076	0.0134	0.0187	0.0236	0.0283	0.0328	0.0372	0.0415
10	0.0297	0.0522	0.0727	0.0918	0.1101	0.1277	0.1448	0.1614
15	0.0658	0.1156	0.1608	0.2033	0.2437	0.2827	0.3205	0.3573
20	0.1156	0.2032	0.2826	0.3572	0.4283	0.4968	0.5632	0.6279
25	0.1790	0.3146	0.4376	0.5531	0.6632	0.7693	0.8722	0.9723
30	0.2558	0.4497	0.6256	0.7906	0.9480	1.0997	1.2467	1.3898
35	0.3461	0.6083	0.8462	1.0694	1.2824	1.4875	1.6864	1.8800
40	0.4496	0.7903	1.0993	1.3893	1.6660	1.9324	2.1907	2.4422
45	0.5663	0.9955	1.3847	1.7500	2.0985	2.4341	2.7595	3.0763
50	0.6962	1.2238	1.7022	2.1513	2.5797	2.9924	3.3923	3.7818
55	0.8391	1.4751	2.0518	2.5931	3.1095	3.6069	4.0890	4.5584
60	0.9951	1.7493	2.4332	3.0752	3.6876	4.2774	4.8492	5.4058
65	1.1641	2.0464	2.8465	3.5974	4.3138	5.0038	5.6727	6.3239
70	1.3461	2.3663	3.2914	4.1597	4.9880	5.7859	6.5593	7.3123
75	1.5409	2.7088	3.7678	4.7618	5.7101	6.6235	7.5089	8.3709

CD: clase diamétrica en cm.



CONCLUSIONES

Los nuevos modelos de Vta generados para nueve especies de coníferas con importancia comercial maderable de Puebla, México a partir del modelo no lineal de Schumacher-Hall son herramientas cuantitativas fundamentales para estimar el volumen maderable, aspecto técnico relevante para realizar inventarios de tipo operativo y de manejo silvícola. Permiten cumplir con la normatividad forestal vigente de México, en el sentido de realizar estimaciones de volumen total árbol por taxón para la elaboración, autorización y ejecución de programas de manejo para aprovechamiento maderable. En su generación se siguió un estricto y completo proceso metodológico, están apegados a un riguroso sustento estadístico, lo que da certidumbre a los usuarios para realizar estimaciones precisas. Contribuyen a brindar soporte para tomar decisiones orientadas al manejo forestal sustentable, así como al aprovechamiento sostenido de los bosques conformados con las especies estudiadas.

LITERATURA CITADA

- Corral, R.J.J., Vega, N.D.J., Rodríguez, S.R., López, S.C.A., Wehenkel, C., Vargas, L.B., Álvarez, G.J.G., and Ruíz, G.A.D. 2017. Compatible system for predicting total and merchantable stem volume over and under bark, branch volume and whole-tree volume of pine species. *Forests*, 8(11), 417.
- Cruz, C.F., Mendía, S.R., Jiménez, F.A., Nájera, L.J., y Cruz, G.F. 2016. Ecuaciones de volumen para *Arbutus* spp. (madroño) en la región de Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia*, 24(68): 41-47.
- Figueiredo, F.A., Amaral M.S., and Araújo, C.M.R. 2000. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xyloimeter). *Canadian Journal of Forest Research*, 30(6): 990-997.
- Guzmán, S.J.C., Aguirre, C.O.A., Jiménez P.J., y Vargas, L.B. 2020. Estimación de volumen de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. & Cham. en diferentes entidades federativas de México. *Colombia Forestal*, 23(2): 99-113.
- Harvey, A.C. 1976. Estimating regression models with multiplicative heteroscedasticity. *Econometrica*, 44(3): 461-465.
- Huang, S., Titus, S.J., and Wiens, D.P. 1992. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(9): 1297-1304.
- Loetsch, F., Zohrer, F., and Haller, K.E. 1973. *Forest inventory*. (2nd. ed.) BLV Verlagsgesellschaft. Munich, Germany. 469 p.
- Mundo, I.A., Rovida, K.E.A. y Aschero, V. 2019 Ajuste de modelos de volumen de fuste para *Populus x canadensis* 'Conti 12' y 'Guardi' en plantaciones irrigadas de Mendoza, Argentina. *Bosque*, 40(2): 217-226.
- Nava, N.A., y Antúnez, P. 2018. Aplicación de la regresión cuantílica para predecir el volumen fustal: Estudio de caso. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(15): 591-600.
- Parresol, B.R. 1993. Modeling multiplicative error variance: an example predicting tree diameter from stump dimensions in baldcypress. *Forest Science*, 39(4): 670-679.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., y Real, P. 1997. *Mensura Forestal*. IICA-BMZ/GTZ. San José, Costa Rica. 586 p.
- Quiñonez, B.G., García, E.G.G. y Aguirre, C.O.A. 2018. ¿Cómo corregir la heterocedasticidad y autocorrelación de residuales en modelos de ahusamiento y crecimiento en altura? *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49): 28-59.
- Ramírez, M.A., Santiago, G.W., Quiñonez, B.G., Ruiz, A.F., y Martínez, A.P. 2016. Modelos de volumen fustal para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 3(2): 61-74.
- Ramírez, M.A., Santiago, G.W., Quiñonez, B.G., Ruiz, A.F., y Antúnez, P. 2018. Modelación del perfil fustal y volumen total para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Madera y Bosques*, 24(2): 1-15.
- Ramos, U.J.A., García, M.J.J., Hernández, R.J., García, C.X., Velarde, R.J.C., Muñoz, F.H.J., y García, E.G.G. 2014. Ecuaciones y tablas de volumen para dos especies de *Pinus* de la sierra Purhúpecha, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(23): 92-107.
- Raptis, D.I., Kazana, V., Kazaklis, A., and Stamatiou, C. 2020. Development and testing of volume models for *Pinus nigra* Arn., *Fagus sylvatica* L., and *Quercus pubescens* Willd. *Southern Forests*, 82(4): 331-341.



- Romahn, V.C.F., Ramírez, M.H., y Treviño, G.J.L. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 354 p.
- Rondeux, J. 2010. Medición de árboles y masas forestales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 521 p.
- Sánchez, G.A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1): 107-120.
- Santos, F.M., Terra, G., Montandon, C.G., and Monte, M.A. 2018. Modeling the height-diameter relationship and volume of young African mahoganies established in successional agroforestry systems in northeastern Brazil. *New Forests*, 50(7–8): 1-19.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1978. Inventario forestal del estado de Puebla. SFF. DGIF. Publicación 44. México. 50 p.
- SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT® 9.3 User's Guide. Cary, NC. SAS Institute Inc.
- Schumacher, F.X., and Hall, F.D. 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, 47: 719-734.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. Norma Oficial Mexicana NOM-152-SEMARNAT-2006. Diario Oficial viernes 17 de octubre de 2008. Primera Sección. 24 p. <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3363/1/nom-152-semarnat-2006.pdf> (consultado 1 de mayo 2021).
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2020. Anuario estadístico de la producción forestal 2017. México. 225 p.
- Silva, G.J., Aguirre, C.O., Alanís, R.E., y González, T.M. 2018. Ecuaciones de volumen para *Prosopis articulata* S. Watson y *Lysiloma divaricata* (Jacq.) J. F. Macbr. en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50): 415-438.
- Simental, C.B., López, S.C.A., Wehenkel, C., Vargas, L.B., Álvarez, G.J.G., and Corral, R.J.J. 2017. Species-specific and regional volume models for 12 forest species in Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 155-171.
- Tamarit, U.J.C., Hernández, R.J., García, C.X., Hernández, R.A., y Aguilar, S.P. 2017. Modelo para estimar volumen fustal en árboles de *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth en Quintana Roo, México. In: Vinay, V.J.C. et al. (comps.) *Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático*. XXX Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz 2017. Año 1, No. 1. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Veracruz, México. pp. 1143-1151.
- Tamarit, U.J.C., Monárrez, G.J.C., y García, C.X. 2019. Modelo para estimar volumen total árbol del género *Quercus* de Puebla, México. In: Vinay, V.J.C. et al. (comps.) *Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático*. XXXII Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Veracruz 2019. Año 3, No. 1. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Veracruz, México. pp. 1070-1084.
- Valencia, C.J.E. 2013. Sistema volumétrico para *Pinus oocarpa* Schiede y *Pinus douglasiana* Martínez en el estado de Durango. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. N. L., México. 57 p.
- Vargas, L.B., Corral, R.J.J., Aguirre, C.O.A., López, M.J.O., De los Santos, P.H.M., Zamudio, S.F.J., Treviño, G.E.J., Martínez, S.M., and Aguirre, C.C.G. 2017. SiBiFor: Forest biometric system for forest management in Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3): 437-455.
- VerPlanck, N.R., and MacFarlane, D.W. 2014. Modelling vertical allocation of tree stem and branch volume for hardwoods. *Forestry*, 87(3): 459-469.



ESTUDIO MICROBIOLÓGICO EN AGUAS RESIDUALES URBANAS EN CÁRDENAS, TABASCO

MICROBIOLOGICAL STUDY IN URBAN WASTEWATER IN CÁRDENAS, TABASCO

¹Solís-Rodríguez DL, ²Rivera-Cruz MC, ³Trujillo-Narcía A, ¹Ramírez-May AG

¹Programa Educativo Químico Farmacéutico Biología. Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ranchería Paso y Playa, Cárdenas, Tabasco. CP86500

²Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, km 2.5, H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500³Programa Educativo de QFB. Cuerpo Académico Energía y Medio Ambiente. Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ranchería Paso y Playa. Cárdenas, Tabasco. CP 86500

Autor para correspondencia: labjuareztabasco@gmail.com

RESUMEN

Se realizó colecta de muestras de agua residual de un dren receptor de agua derivada de restaurantes, sanitarios y de laboratorios dentro de la Universidad Popular de la Chontalpa, igualmente se colectaron mediante gravedad bacterias y hongos heterótrofos del aire atmosférico aledaño al agua residual. Estos microorganismos se cultivaron en medios de cultivos específicos. Los resultados evidencian diferencias estadísticas significativas de las densidades poblacionales de los microorganismos estudiados tanto en el agua como en el aire. La mayor densidad poblacional fúngica y bacteriana se encontró a 30 y 60 metros de distancia de la fuente emisora. Se concluye que existen altas densidades de coliformes totales, coliformes fecales, bacterias heterótrofas, hongos heterótrofos y *Escherichia coli*. Todos estos grupos de microorganismos rebasan los límites máximos permisibles indicados en las normas mexicanas NOM-003-SEMARNAT-1997 y NMX-AA-042-SCFI-2015.

Palabras clave: bacterias, coliformes, *Escherichia coli*, hongos heterótrofos.

INTRODUCCION

Las aguas residuales son las aguas de abastecimiento de una población después de haber sido impurificadas por diversos usos. Resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua procedentes de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que puedan agregarse (Hilleboe, 2000). Esta investigación es de suma importancia ya que, el agua es un recurso vital para los seres vivos, además su contaminación implica riesgos altos de acumulación/presencia de microorganismos patógenos los cuales pueden tener efectos dañinos en la salud. En este contexto, el objetivo fue demostrar la densidad poblacional bacteriana y fúngica existente en el agua residual que rebasan los límites máximos permisibles de acuerdo a la normatividad mexicana. El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos (Díaz *et al.*, 2012). Contiene incontables organismos vivos, la mayoría son demasiados pequeños para ser visibles excepto bajo el microscopio, estos organismos microscópicos pertenecen a dos tipos generales: bacterias y otros organismos vivos más complejos (Hilleboe, 2002). La microflora del agua subterránea es una de las menos estudiadas; específicamente se conoce poco de los aspectos microbiológicos de la contaminación que ocurre en este ambiente (Ramírez *et al.*, 2009). La presencia o aumento de bacterias, parásitos, virus y hongos en el agua surge usualmente por efecto directo o indirecto de cambios en el medio ambiente y en la población tales como urbanización no controlada, crecimiento industrial, pobreza, disposición inadecuada de excretas humanas y animales. Los cambios relacionados con las actividades antropogénicas se ven reflejados directamente en el entorno y, por consiguiente, en el recurso hídrico (Rios-Tobon *et al.*, 2017).



MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH) y en el laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental del Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. El proceso de investigación tuvo tres etapas secuenciales. Etapa I trabajo en campo, etapa II trabajo en laboratorio y etapa III análisis estadístico. **Localización del sitio evaluado.** El área evaluada es un dren receptor de agua residual que mide 2 m de ancho y 130 m de longitud, la superficie evaluada abarcó 260 m² localizada en la UPCH. Este dren transporta a cielo abierto el agua residual generada dentro la UPCH. **Muestreo.** El muestreo se realizó durante noviembre 2019, la distancia entre cada punto de muestreo fue de 30 m, cada punto fue geoposicionado con coordenadas UTM con equipo GPS Garmin Rino 530 (Cuadro 1).

Microorganismos evaluados. Los organismos evaluados fueron coliformes totales, coliformes fecales, bacterias heterótrofas, hongos heterótrofos y la bacteria *E. coli*.

Cuadro 1. Ubicación de los puntos de muestreo del agua residual y de microorganismos del aire el 26 de noviembre de 2019.

Punto de muestreo	Coordenadas UTM (Zona 15)		Hora de colecta agua residual	Tiempo de exposición de medios de cultivo al aire	
				Inicial	Final
1	0461388	1985930	15:30	14:10	16:10
2	0461388	1985959	15:48	14:22	16:22
3	0461387	1985988	16:04	14:36	16:36
4	0461387	1986019	16:17	14:45	16:45
5	0461387	1986050	16:27	14:58	16:58

Etapla I. Materiales y metodología en trabajo de campo. Los materiales utilizados en campo fueron barrena agrológica identificar características de los puntos de muestreo, agua destilada, agua bidestilada, estopa, alcohol etílico, algodón para desinfección de frasco recolector de agua, bolsas ziploc, platos de unicol, hilo comercial para sostener las cajas Petri con medios de cultivo de hongos y bacterias heterótrofos, cinta métrica, balizas, machete, cinta métrica de 50 m de longitud, guantes, cubre bocas, frascos de vidrios ámbar esterilizados, hielera, hielo, espátula, marcador indeleble, etiquetas blancas adherible, equipo GPS, cámara fotográfica, libreta de campo y lapicero.

Colecta de muestras de agua residual. En cada punto de muestreo se introdujo en la superficie de agua el frasco muestreador por cinco veces para formar una muestra compuesta (Cuadro 1, Figura 1), se adhirió la etiqueta rotulada al frasco con la nomenclatura de la muestra, el frasco se introdujo en bolsa ziploc, se llevó a cabo la desinfección del frasco recolector para evitar la contaminación cruzada, posteriormente se preservó la muestra en hielera a temperatura entre 0 y 4 °C. La Figura 1 muestra la secuencia del muestreo y preservación de la muestra.



Figura 1. Colecta de muestra del agua residual.

Colecta de bacterias y hongos del aire. La exposición de los medios de cultivo sobre el agua del dren se realizó durante dos horas en los cinco puntos de muestreo (Cuadro 1, Figura 2). Se colocó en cada punto un plato de unicel sobre la superficie del agua y se sujetó con hilo a una baliza. Se acomodaron las cajas Petri con medios de cultivo agar nutriente (bacteria) y papa dextrosa agar (hongo). Las cajas quedaron abiertas durante dos horas para la colecta de bacterias y hongos existentes en el aire atmosférico, posteriormente cada caja fue tapada y se guardó en bolsas ziploc desinfectada previamente para evitar contaminación cruzada.



Figura 2. Colecta de bacterias heterótrofas, hongos heterótrofos y *Escherichia coli*.

Etapas II. Materiales y metodología en laboratorio. Los equipos utilizados fueron mechero Bunsen, balanza analítica con precisión de 0.001g, autoclave, incubadora, baño María, contador de colonias, microscopio óptico, desecador, estufa, centrifuga, agitadores, horno esterilizador, cámara inoculación, frigorífico o cámaras refrigeradas, baño termostático, jarras de anaerobios y potenciómetro. Los materiales fueron cajas Petri de vidrio, gas butano, medios de cultivo específicos de Merck®, agua destilada, matraces Erlenmeyer, alcohol, algodón, guantes de plástico, cubrebocas, bolsas de plástico de 1 kg, micropipeta de 1 ml, puntillas para micropipeta, espátula trigalsqui en base giratoria, tubos de ensayo, cintas para rotular, asas para siembra, portaobjetos, cubreobjetos, pipetas, buretas, probetas, embudo de decantación, espátulas, escobillas, termómetro ambiental, vasos de precipitado, vidrio de reloj, mortero con pistilo, matraz aforado, frascos lavadores, rejillas de asbesto, tripie y cronometro. Se realizaron pruebas presuntivas para coliformes totales y fecales se tomó como referencia la norma mexicana NMX-AA-42-SCFI-2015 (DOF, 2015) referente a la calidad de agua. Utilizando medio de cultivo lactosa Bouillon, la incubación fue a 37 °C durante 49 horas (Ramírez *et al.*, 2013). Para la prueba confirmativa de coliformes totales se utilizó caldo verde brillante, la incubación también fue a 37 °C durante 48 h (Ramírez *et al.*, 2013). La prueba confirmativa de coliformes fecales se utilizó el medio extracto de carne y la incubación fue en baño María a 44.5 °C durante 48 h (Merck, 1994). Las densidades poblacionales de bacterias y hongos heterótrofos se determinaron a partir de la captación por gravedad del aire atmosférico en las cajas Petri expuestas durante dos horas, se utilizó agar nutriente para bacterias y papa dextrosa agar para hongos (Merck, 1994). La población de *E. coli* se determinó con el procedimiento de vertido en placa inoculando las cajas Petri con el medio de cultivo Bouillon (Merck, 1994).

Etapas III. Análisis estadístico. Se utilizó el paquete estadístico SAS (2005) para realizar la prueba de análisis de varianza y diferencia de medias de las densidades poblacionales de los cinco grupos de microorganismos evaluados en las cinco estaciones de muestreo.



RESULTADOS Y DISCUSION

Densidad poblacional de coliformes totales en agua residual. La Figura 3 muestra las medias poblacionales de las bacterias coliformes totales, ocurrieron diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$, $a > b$, $n=3$) entre las medias de los cinco puntos evaluados. Los resultados indican relación negativa entre la cantidad de bacterias en función a la distancia de los cinco puntos de muestreo. El conteo registro 920 UFC en el primer punto de muestreo y también en la muestra de agua colectada a los 30 m de distancia de la fuente de liberación del agua residual. Los datos a los 60, 90 y 120 m de distancia corresponden a 280, 102 y 12 UFC, respectivamente.

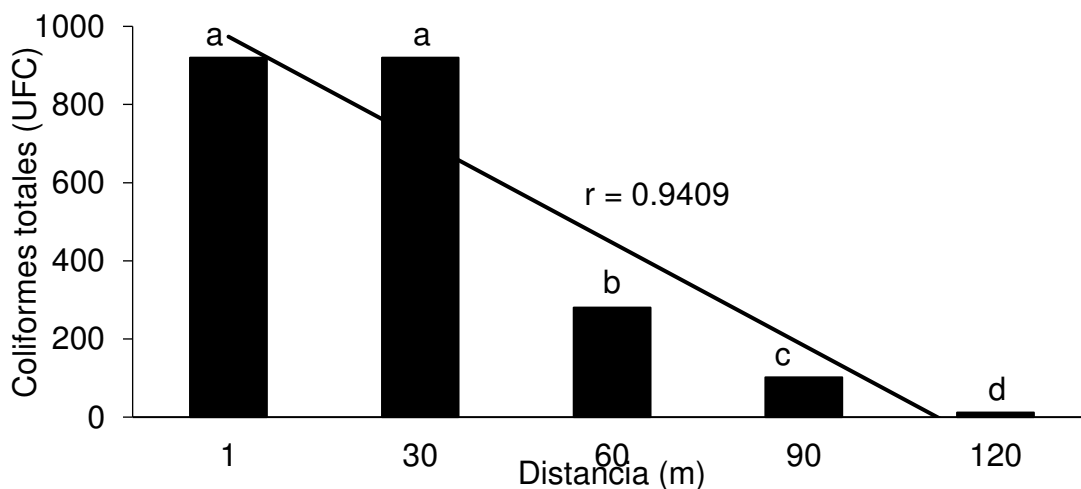


Figura 3. Densidad de coliformes totales colectadas de muestras de agua residual a diferentes distancias a partir de la fuente de emisión.

Densidad poblacional de coliformes fecales en agua residual. La población de bacterias fecales mostró resultados inversamente proporcionales en función del incremento de la distancia de muestreo (Figura 4). El valor de r lo confirma, es 0.8920. al igual que en las poblaciones de bacterias totales, en las fecales también se encontró que en la cercanía (puntos 1 y 30 m de distancia) del punto de liberación de agua residual existe mayor carga bacteriana con 920 UFC. La Figura 4 evidencia la drástica disminución del orden de 8.8 veces menor cantidad de bacterias a los 60 m de distancia y aumento a 49 veces en el último punto de muestreo ubicado a 120 m de distancia. La NOM-003-SEMARNAT-1997 establece que el límite máximo permisible de coliformes fecales en el agua es de 240 UFC, por lo tanto, los valores obtenidos rebasan en las muestras colectadas a la distancia 1, 30 y 60 m. Los valores determinados fueron 920, 920 y 280 UFC en las muestras colectadas en los tres primeros puntos de muestreo.

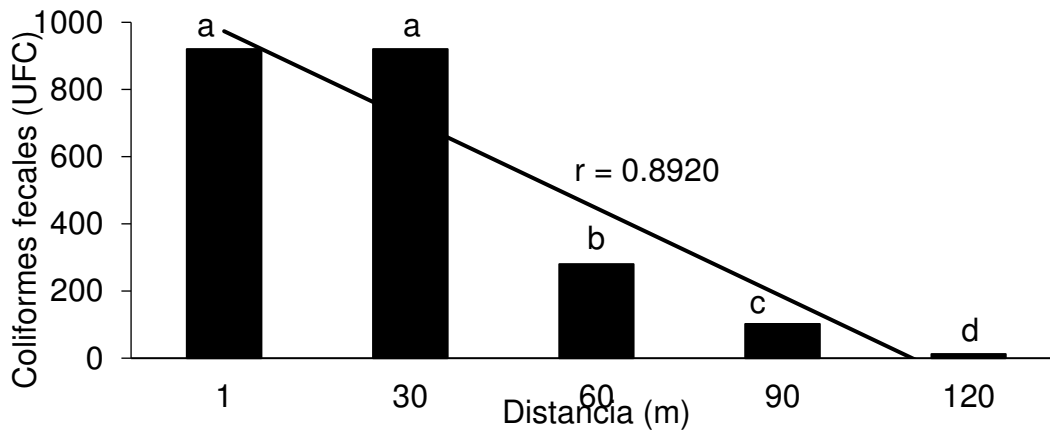


Figura 4. Densidad de coliformes fecales de muestra de agua residual a diferente distancia a partir de la fuente de emisión.

Densidad poblacional de bacterias heterótrofas en agua residual. De acuerdo con la Figura 5 la mayor población de bacterias heterótrofas fue en el punto 1 se contaron 365 UFC, disminuyó a 178 a los 30 m de distancia, siguió la misma tendencia en la muestra ubicada a 60 m, continuo la disminución a 68 UFC a los 90 m de distancia y por último aumento ligeramente a 77 UFC en el punto ubicado a 120 m de distancia de la fuente de liberación del agua residual. La mayor población de bacterias heterótrofas en el punto inicial puede ser a que el agua contiene una mayor concentración de desechos humanos (orina y excremento). Estos residuos emiten a la atmosfera olores y vapor de agua en donde las bacterias posiblemente se encuentran suspendidas y al encontrar el medio de cultivo específico lo colonizan como sucedió en esta investigación. Los datos encontrados rebasan las 240 UFC permitidas en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

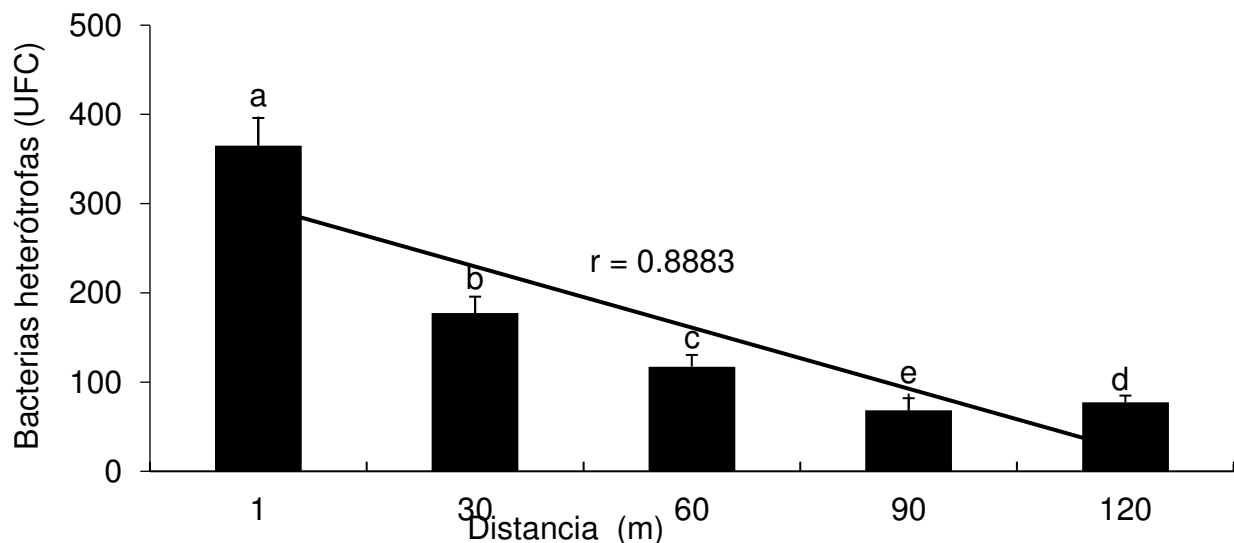


Figura 5. Densidad de bacterias heterótrofas atmosféricas colectadas en cajas Petri a diferentes distancias a partir de la fuente de liberación del agua residual.

Densidad poblacional de hongos heterótrofos de muestras de aire. La Figura 6 muestra los resultados poblacionales de los hongos heterótrofos colectados de la atmosfera inmediata sobre cada uno de los cinco puntos de muestreo del agua residual. La tendencia poblacional es menos acentuada



que los otros grupos de microorganismos evaluados, pero es también decreciente. La regresión lineal simple es inversa alta, el valor de correlación es 0.8679. Las medias poblacionales registraron medias con diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$, $a > b$, $n=3$). La mayor cantidad de hongos heterótrofos fue de 49 UFC, se contó de las cajas Petri expuestas durante dos horas sobre el agua residual en el punto ubicado a 30 m de distancia de la fuente de emisión, a partir de los 60 m de distancia la cantidad disminuyó gradualmente, la cantidad menor fue de 11 UFC contados en el punto localizado a 120 m de distancia.

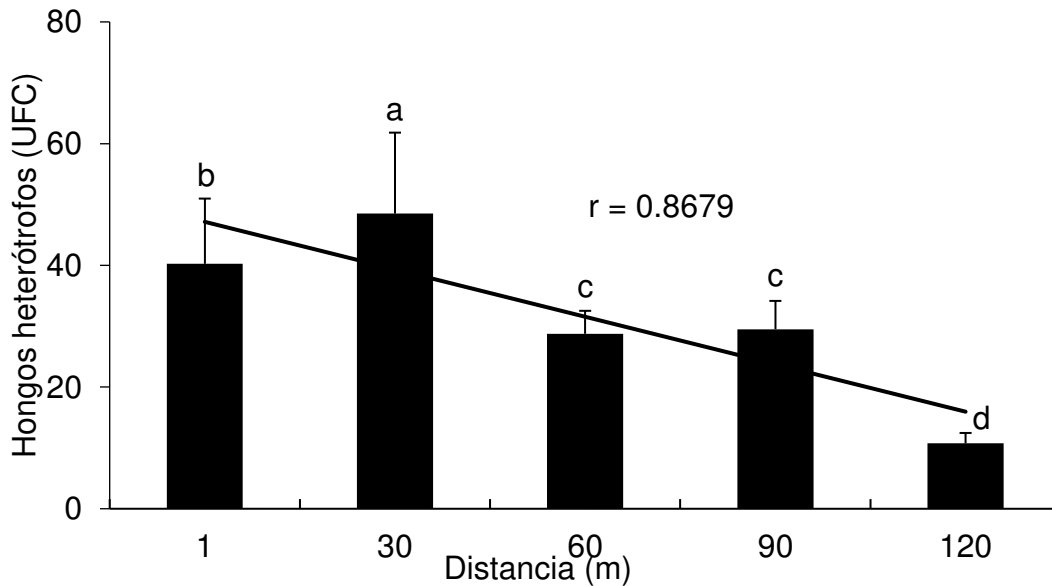


Figura 6. Hongos heterótrofos colectados de muestras atmosféricas a diferentes distancias a partir de la fuente de emisión.

Densidad poblacional de *Escherichia coli* en agua residual. La población de *E. coli* también registro una tendencia marcada decreciente al aumentar la distancia a partir del punto de liberación del agua residual. En la Figura 7 se muestra la correlación entre la distancia de muestreo y la cantidad de bacterias una tendencia negativa muy fuerte ($r=0.9796$), fue la más correlacionada de los cinco grupos de microorganismos evaluados. En el primer punto de muestreo se encontraron 175 UFC, disminuyó a 162 en el punto ubicado a 30 m, se encontraron 131 UFC a 60 m, disminuyó a 90 en el punto a 90 metros, finalmente se contaron 41 bacterias en el punto más lejano a 120 metros de distancia en el punto de liberación de agua residual.

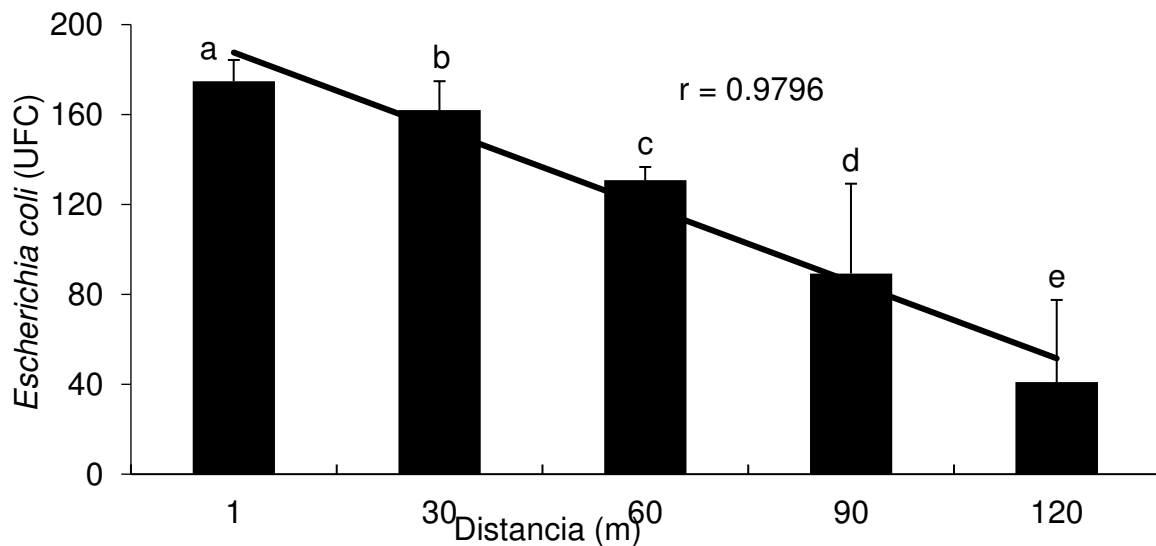


Figura 7. Densidad de *Escherichia coli* de muestras de agua residual a diferentes distancias a partir de la fuente de emisión.

CONCLUSIONES

El agua residual acumulada y que circula en el dren tiene densidades poblacionales de coliformes totales, coliformes fecales, bacterias heterótrofas, hongos heterótrofos y *Escherichia coli* que rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad mexicana. Las densidades poblacionales evaluadas son mayores en el punto receptor del dren más cercano a la presa de almacenamiento y disminuyen al aumentar la distancia de la fuente de emisión.

LITERATURA CITADA

- Díaz C.E., Alvarado G.A.R. y Camacho C.K.E. 2012. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamientos de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Amalaya, México. Universidad Autónoma del Estado de México. 21 p.
- DOF. 1997. NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público. 21 septiembre 1997. 8 p.
- DOF. 2015. NMX-042-SCFI-2015 Análisis de agua, enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* método del número más probable en tubos múltiples. México, D.F. 29 p.
- Hilleboe H.E. 2000. Manual de tratamientos de aguas negras. México D.F. 304 p.
- Hilleboe H.E. 2002. Manual de tratamiento de agua. México, D.F. 205 p.
- Merck. 1994. Manual de medios de cultivos Merck. Darmstadt, Alemania. 364 p.
- Ramírez E. Robles E. Sainz M.G. Ayala R. y Campoy E. 2009. Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 25 (4): 247-255
- Ramírez G.R.M., Luna M.B., Mejía C.A, Velázquez M.O., Tsuzuki R.G., Vierna G.L., Hernández G.L., Muggenburg R.I., Camacho C.A y Urzúa H.M. 2013. Manual de Prácticas de Microbiología General. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 309 p.
- Ríos-Tobon S, Agudelo-Cavidad R.M. Gutiérrez-Builes L.A. 2017. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Nac. Salud Publica* 35(2): 236-247.



ECUACIONES LOCALES DE ALTURA-DIÁMETRO PARA *Cedrela odorata* L. EN BOSQUE NATURAL DE QUINTANA ROO, MÉXICO

LOCAL HEIGHT-DIAMETER EQUATIONS FOR *Cedrela odorata* L. IN NATURAL FOREST OF QUINTANA ROO, MEXICO

¹García C., X.; ¹Hernández-R., J.; ²Hernández R., A.; ³Reynoso S., R; ²Cano P., A. y Hernández-Martínez A.J⁴

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Chetumal, Km. 25 Carretera Chetumal-Bacalar, Xul-Ha, Quintana Roo, 77000, México.

²INIFAP-Campo Experimental Saltillo. Km 342+119 Carretera Saltillo-Zacatecas No. 9515 Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

³INIFAP-Campo Experimental Centro de Chiapas. Km 3. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, A.P. No. 1, C. P. 29140. Ocozocoautla, Chiapas.

⁴Prestador Independiente de Servicios Profesionales Forestales. Ocampo, Michoacán, México.
Autor de correspondencia: xavier_garciacuevas@yahoo.com.mx

RESUMEN

El diámetro normal (d) y la altura total (h) son las variables más importantes para estimar el volumen maderable en los bosques. El objetivo fue ajustar ecuaciones locales para la relación $h-d$ de árboles de *Cedrela odorata* L. en bosques naturales de Quintana Roo, México. El estudio se realizó en Quintana Roo, en un clima cálido sub-húmedo en selvas medianas subperennifolias. Se colectaron 357 pares de datos $h-d$ en árboles de 5 a 32 m de h , y 5 cm a 160 cm de d . Se ajustaron los modelos de Schumacher, Chapman-Richards y Weibull en SAS con Proc Model por máxima verosimilitud. La selección del modelo se basó en la raíz del cuadrado medio del error, coeficiente de determinación ajustado y significancia de los estimadores, así como las pruebas de normalidad y heterocedasticidad. La dispersión de los datos $h-d$ mostró una adecuada distribución, donde se observa una forma cóncava con inflexión aparente. El análisis de varianza confirmó que la ecuación Weibull describe la h en función del d , tiene el menor valor de la $RCME$, alto valor del R^2_{adj} y sus parámetros significativos. La ecuación obtenida es: $h = 1.3 + 46.83691(1 - e^{-0.045441d^{0.585965}})$. Los datos tienen distribución normal de acuerdo a la prueba de Shapiro Wilk ($\alpha = 0.0142$) y homocedástica con base en la prueba de White. El sesgo subestima en -0.34 m a nivel de árbol individual. La ecuación seleccionada permitirá completar las bases de datos de los inventarios forestales y es recomendable su uso para modelar con precisión para dimensiones de 5 a 120 cm de diámetro y 30 m de altura.

Palabras clave: Modelos locales, cedro rojo, inventarios forestales, bosque tropical, manejo forestal.

INTRODUCCIÓN

El diámetro normal (d) y la altura total (h) son las variables más importantes para evaluar las existencias maderables en los rodales, ya que permiten estimar el volumen existente para el manejo de los bosques e investigación de los ecosistemas (Liu *et al.*, 2017). Medir la altura de todos los árboles en un inventario forestal es muy costoso en términos de tiempo y recursos, además de que por la dificultad es la variable en la cual se incurre en los más grandes errores, ya que muchas veces se estiman a criterio (Barrio *et al.*, 2004). Contrario a esto, la medición del diámetro normal, es relativamente sencilla, precisa y menos costosa (Zhang *et al.*, 2002).

En los inventarios forestales, se toma una submuestra de h por categoría diamétrica y sitio. A partir de estas mediciones se generan ecuaciones alométricas que relacionan ambas variables ($h-d$) y se estima la h de los árboles restantes (Barrio *et al.*, 2004). Además, la relación $h-d$ es una medida de la productividad del sitio en bosque naturales (Duan *et al.*, 2018).

Las relaciones entre el d con la h obedecen a una regla de proporcionalidad que es la misma para los árboles que crecen en condiciones semejantes (Bohlman y O'Brien, 2006). Esto es, un principio básico



de la alometría que permite predecir en forma cuantitativa variables de un árbol difíciles de medir en función de otras de fácil medición (Gayon, 2000).

Por lo anterior, el objetivo fue ajustar ecuaciones locales para modelar la relación $h-d$ de árboles de *Cedrela odorata* L. en bosques naturales de Quintana Roo, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el estado de Quintana Roo, México en selvas medianas subperennifolias y medianas subcaducifolia que habitan en lomeríos y llanura rocosa (Pennington y Sarukhán, 2016), con un clima predominante cálido sub-húmedo (Aw) con temperatura media anual de 26 °C y una precipitación media de 1 300 mm (SEMARNAT, 2014; INEGI, 2016). De acuerdo con la terminología maya y su equivalente según la IUSS Grupo de trabajo WRB (2007) corresponden a: Tzek'el (Leptosol), Kakab (Rendzina); K'ankab (Luvisol crómico) y Yax-hoom (Vertisol pélico).

Se colectaron 357 datos de $h-d$ en árboles de 5 a 32 m y 5 cm a 160 cm. Se ajustaron los modelos de crecimiento de Schumacher, Chapman-Richards y Weibull (Kiviste *et al.*, 2002) en el paquete estadístico SAS con el procedimiento Model y máxima verosimilitud (SAS Institute, 2015) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelos de crecimiento evaluados para estimar altura total (h) en función del diámetro normal (d) en árboles de *S. macrophylla* en Quintana Roo, México.

Modelo	Fórmula	Identificador
Schumacher	$h = 1.3 + \beta_0 e^{\beta_1/d} + \varepsilon_i$	[1]
Chapman-Richards	$h = 1.3 + \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 d})^{\beta_2} + \varepsilon_i$	[2]
Weibull	$h = 1.3 + \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 d^{\beta_2}}) + \varepsilon_i$	[3]

β_i : parámetros a estimar en el proceso de ajuste del modelo, h : altura total (m), d : diámetro normal (cm), e : base de los logaritmos neperianos, ε : término de error aleatorio.

La selección de mejor modelo se basó en el menor valor de la raíz del cuadrado medio del error (REMC), mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y la significancia de los estimadores ($p = 0.05$). De igual manera, se verificó el cumplimiento de la normalidad de la información y homocedasticidad de la varianza. Además, se graficaron de los valores predichos y observados y la exactitud se evaluó a través del sesgo (\bar{E}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La dispersión de los datos $h-d$ mostró una adecuada distribución y representatividad de las clases diamétricas de 5 a 160 cm, así como de las de alturas entre 5 a 30 m, donde se observa una forma cóncava con inflexión aparente (Figura 1a).

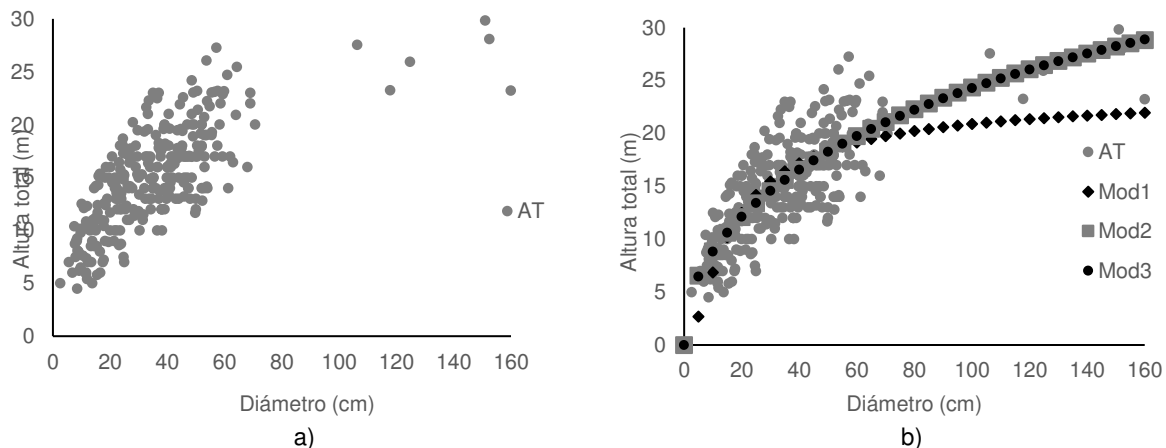


Figura 1. Dispersión de datos observados (a) y estimados (b) para árboles de *C. odorata* en bosques naturales de Quintana Roo, México.



El análisis de varianza confirmó que las ecuaciones [2] y [3] son muy similares y describen la h en función del d (Figura 1b y 1c), ya que minimizan el valor de la RCME, maximizan el valor del R^2_{adj} y todos sus parámetros significativos (Cuadro 2). Los residuales se distribuyen alrededor de cero (Figura 2b y 2c).

La ecuación seleccionada fue la [3]: $h = 1.3 + 46.83691(1 - e^{-0.045441d^{0.585965}})$ y a partir de la cual se estimó la h de los árboles en el intervalo de los datos observados. Donde h es la altura total (m), d es el diámetro normal (cm) y e es la base de los logaritmos neperianos.

Cuadro 2. Parámetros estimados y sus estadísticos de bondad de ajuste para los modelos $h-d$ en árboles de *S. macrophylla* en bosques naturales de Quintana Roo, México.

Modelo	Parámetro	Estimador	Eea	Valor t	Pr > t	R^2_{ad}	RCME
[1]	β_0	22.53411	0.5342	42.18	<.0001	0.5578	3.2873
	β_1	13.96999	0.8657	16.14	<.0001		
[2]	β_0	37.30102	9.6446	3.87	0.0001	0.6200	3.0473
	β_1	0.00524	0.00389	1.35	0.1789		
	β_2	0.536524	0.0641	8.38	<.0001		
[3]	β_0	46.83691	21.4934	2.18	0.0301	0.6201	3.0469
	β_1	0.045441	0.013	3.49	0.0006		
	B_2	0.585965	0.0877	6.68	<.0001		

Eea: error estándar aproximado; Pr > |t|: nivel de significancia, R^2_{aj} : coeficiente de determinación

ajustado, RCME: raíz del cuadrado medio del error.

Los datos tienen una distribución normal de acuerdo a la prueba de Shapiro Wilk ($\alpha = 0.0142$) y de acuerdo a la prueba de White y la distribución de residuales no presentan problemas de heterocedasticidad. El sesgo absoluto promedio subestima en 0.34 m a nivel de árbol individual, lo cual es muy bajo y aceptable.

Cuadro 3. Indicadores de normalidad, heterocedasticidad, autocorrelación y precisión para los modelos $h-d$ en árboles de *S. macrophylla* en bosques naturales de Quintana Roo.

Modelo	Normalidad			Heterocedasticidad		
	Prueba	Valor	Probabilidad	Prueba	Valor	Pr > Chi Sq
[1]	SW	0.98	0.0930	White	48.66	<0.0001
[2]	SW	0.97	0.0136	White	11.38	0.0772
[3]	SW	0.97	0.0142	White	11.30	0.0796

SW: Prueba de Shapiro Wilk; Pr > Chi Sq: nivel de significancia de la prueba de Chi cuadrada.

La ecuación [3] tiene una altura máxima posible (asíntota) o máxima altura alcanzada a una edad infinita e intercepto de 1.3, la cual significa que la h es igual a 1.3 m cuando el d es igual a cero. En la Figura 2, se observa la fidelidad de predicción que describe los datos observados.

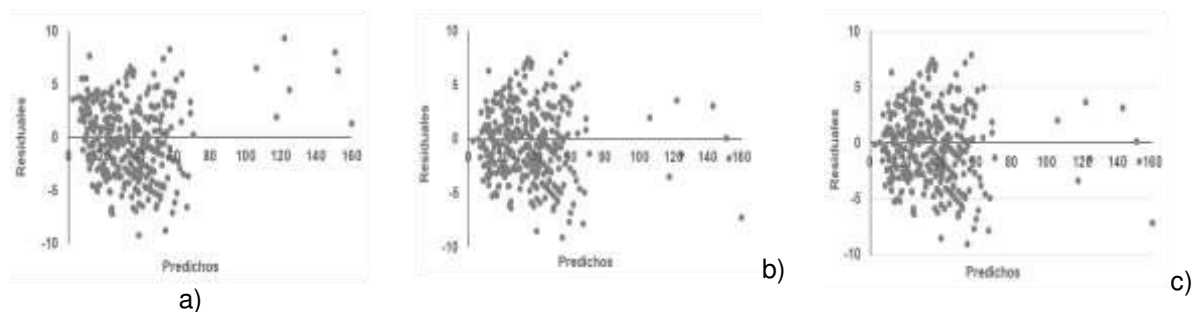




Figura 2. Dispersión de residuales de $h-d$ para árboles de *C. odorata* L. en bosques naturales de Quintana Roo, México.

CONCLUSIONES

Las ecuaciones permitirán completar las bases de datos de los inventarios forestales en donde no es posible la medición de las alturas de todos los árboles de la muestra.

Es recomendable su uso debido a sus propiedades para modelar con precisión para dimensiones de 5 a 160 cm de diámetro y hasta 30 m de altura.

LITERATURA CITADA

- Barrio, A. M., J.G. Álvarez G., I. J. Díaz M. y C. A. López S. 2004. Relación altura diámetro generalizada para *Quercus rubur* L. en Galicia. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 18:141-146.
- Bohlman, S. y O'Brien, S. (2006). Allometry, adult stature and regeneration requirement of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Tropical Ecology*, 22(2), 123–136. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467405003019>
- Duan, G., Gao, Z., Wang, Q., & Fu, L. 2018. Comparison of different height-diameter modelling techniques for prediction of site productivity in natural uneven-aged pure stands. *Forests*, 9(2), 1–18. doi: 10.3390/f9020063
- Gayon J. 2000. History of the concept of allometry. *American Zoologist* 40: 748-758. DOI:10.1093/icb/40.5.748.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2016. Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2016. Gobierno del estado de Quintana Roo. México, D.F. 407 p.
- IUSS Grupo de trabajo WRB (2007) Base referencial mundial del recurso suelo: Primera actualización. Informe sobre los recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 117 p.
- Kiviste, A., J. G., Álvarez, G., Rojo, A. A., y Ruiz G., A. D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimenticia. Ministerio de Ciencia y Tecnología. La Coruña, España. 190 p.
- Liu M, Feng Z, Zhang Z, Ma C, Wang M, Lian B-l, et al. 2017. Development and evaluation of height diameter at breast models for native Chinese *Metasequoia*. *PLoS ONE*, 12(8): e0182170. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182170>.
- Pennington, .D. y J. Sarukhán. (2016). Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Fondo de Cultura Económica. Cd. Mexico. 523 p.
- SAS Institute Inc. (2015). SAS/STAT® 14.1 User's Guide. Cary, NC: NC. USA 1028 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2014. Inventario Estatal Forestal y de Suelos 2013. SEMARNAT. Guadalajara, Jalisco, México. 125 p.
- Zhang L., Peng, C., Huang, S., & Zhou, X. 2002. Development and evaluation of ecoregion-based jack pine height-diameter models for Ontario. *Forestry Chronicle*, 78(40), 530-538. DOI: DOI: 10.5558/tfc78530-4



NICHOS ECOLÓGICOS Y ÁREAS IDÓNEAS DE TRES ESPECIES DE PINO HOSPEDERAS DE DESCORTEZADOR *Dendroctonus mexicanus* HOPKINS

ECOLOGICAL NICHES AND SUITABILITY AREAS OF THREE HOST PINE SPECIES OF BARK BEETLE *Dendroctonus mexicanus* HOPKINS

¹Méndez Encina FM, ²Méndez González J, ¹Mendieta Oviedo R y ¹López Díaz JOM

¹Estudiante de posgrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315. Saltillo Coahuila, México.

²Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315. Saltillo Coahuila, México.

Autor de correspondencia: fatyencina12@gmail.com

RESUMEN

Los cambios de climas influyen significativamente en la distribución de las especies. *Dendroctonus mexicanus* Hopkins es la especie de descortezador de mayor distribución e importancia en México colonizando más de 21 especies de pino. Los objetivos de este estudio fueron generar modelos de nicho ecológico para *D. mexicanus* y tres de sus especies hospederas más importantes, evaluar el traslape de la idoneidad climática de la asociación *Dendroctonus–Pinus*, comparar sus nichos ecológicos y determinar la posible expansión del descortezador. Se usaron registros de presencia de las especies minuciosamente depurados, 15 variables bioclimáticas y 'kuenm' un paquete de R que usa como algoritmo de modelación a Maxent. Los nichos ecológicos *Dendroctonus–Pinus*, fueron comparados con el uso métodos de ordenación y una función de densidad Kernel. Se generaron 1392 modelos candidatos, no todos resultaron estadísticamente significativos ($\alpha \leq 0.05$), la respuesta de la variable fue de tipo cuadrático, existe una correlación positiva entre la idoneidad y la precipitación y negativa a temperatura, siendo esta última la que determina la idoneidad climática de las especies estudiadas. Se identificó a las especies de *Pinus leiophylla* Schl. & Cham y *D. mexicanus* como vulnerables al cambio climático. El traslape de áreas idóneas de *Dendroctonus–Pinus* es 74.95 % (*P. leiophylla*) y el traslape de nichos en promedio es de 46.66 %. Se tiene poca superficie libre de descortezador (30.02 y 25.65 %). Se observaron inicios de expansión de *D. mexicanus* hacia nuevos climas actualmente no ocupados por las especies de pino estudiadas.

Palabras clave: *Dendroctonus mexicanus*, *kuenm*, modelos de nicho ecológico, *Pinus*, traslape de nicho.

INTRODUCCION

Los bosques de pino representan gran importancia económica para el país estos cubren 13 % del territorio (Challenger y Soberón, 2008); desde el punto de vista ecológico, contribuyen a la regulación del clima global al actuar como sumideros de CO₂ (FAO, 2018); sin embargo, la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, causada principalmente por actividades humanas, ha provocado un incremento de 0.87 °C en los últimos 10 años (Allen *et al.*, 2018).

Coexistiendo de forma natural con las especies de coníferas se encuentran especies del género *Dendroctonus* Erichson, 1836, los llamados 'escarabajos descortezadores' (Wood, 1982; Armendáriz *et al.*, 2012). En México se encuentran 12 de las 19 especies conocidas de descortezadores (Armendáriz *et al.*, 2012; Salinas *et al.*, 2010). *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, es la especie de descortezador de mayor distribución en el país (Salinas *et al.*, 2010), la más destructiva y por daños irreversibles ocasionados a los bosques de coníferas, se le considera la especie de mayor importancia (Cibrián *et al.*, 1995). Está caracterizada por alta polifagia, colonizando más de 21 especies de pino, siendo *Pinus*



leiophylla Schl. & Cham., *Pinus teocote* Schiede ex Schtdl. y *Pinus devoniana* Lindley, las especies de mayor porcentaje de incidencia con 35.6, 13.9 y 9.4%, respectivamente (Salinas *et al.*, 2004).

Para manejar adecuadamente el futuro de los bosques de un país, es necesario conocer el impacto del cambio climático sobre la distribución de las especies. El uso de modelos de distribución de especies correlativos basados en nichos (en lo sucesivo SDM's) se ha utilizado ampliamente para predecir los cambios potenciales en la distribución de especies bajo escenarios de cambio climático (Peterson *et al.*, 2011; Cobos *et al.*, 2018; Méndez *et al.*, 2020). Los modelos de idoneidad de las especies, han sido usados con muchos fines, comúnmente para planes de conservación y biodiversidad; sin embargo, para el caso del género *Pinus* en México, estos resultan poco útiles si no se consideran los modelos de idoneidad climática del género *Dendroctonus*, puesto que al coexistir comparten parcial o totalmente el espacio geográfico (G) y el espacio ambiental (E).

Los objetivos de este estudio fueron: i) generar modelos robustos de nichos ecológicos y distribución de especies para *D. mexicanus* y tres de sus especies hospederas más importantes: *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. devoniana*, y con ello determinar áreas idóneas de *Pinus* (AIP) libres de áreas idóneas de descortezador (AID), ii) evaluar el traslape de la idoneidad climática y del nicho ambiental de la asociación *Dendroctonus–Pinus* en el espacio (G) y (E) a través de modelos predictivos y de análisis multivariados y iii) conocer las tolerancias climáticas a través de un perfil bioclimático detallado de estas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

En general el área de estudio corresponde a bosques de coníferas, predominan temperaturas medias anuales que oscilan entre los 10 y 20 °C y precipitación anual entre 600 y 1000 mm (Rzedowsky, 1978), entre altitudes mínimas desde 1600 hasta un poco más de 3000 m.

Por la escala del área de estudio (> 200 km) se utilizaron solo variables bioclimáticas (Willis y Whittaker, 2002; Austin y Van Niel, 2011), las propuestas por (Karger *et al.*, 2017), mismas que fueron re muestreadas a ~5 km² de resolución. Se excluyeron Bio 8, Bio 9, Bio 18 y Bio 19, ya que, por combinar información de precipitación y temperatura en la misma capa, las predicciones resultan erráticas y sesgadas (Escobar *et al.*, 2014).

La selección de las variables fue acorde a los criterios: 1) contribución relativa de la variable al perfil bioclimático de la especie (Mendoza *et al.*, 2011); obtenida a través de análisis de componentes principales (ACP) realizado con el paquete 'FactoMiner' (Lê *et al.*, 2008), extrayendo previamente a cada registro el valor de las 15 variables bioclimáticas, con las variables estandarizadas, 2) variables no correlacionadas ($r < 0.8$); a través de análisis de correlación paramétrica ($\alpha \leq 0.05$) realizado a las variables transformadas a logaritmo natural (Elith *et al.*, 2006; Merrow *et al.*, 2013; De Marco y Nóbrega, 2018), 3) distribución de frecuencias de la variable, dando prioridad a ser elegidas aquellas cercanas a una distribución normal o sesgada (izquierda o derecha) (Beaumont *et al.*, 2005) y 4) capacidad predictiva de la variable; consiste en hacer una modelación preliminar con variables individuales y transferir el modelo en tiempo y espacio, las variables que mostraron menor sobreestimación de la idoneidad climática de la especie fueron elegidas. Estos procedimientos fueron realizados para cada especie.

Los registros de presencia de cada especie se obtuvieron de los portales GBIF y REMIB. Otros fueron obtenidos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México (INFyS), artículos científicos y de registros obtenidos durante estudios de campo realizados anteriormente.

La limpieza de los registros de cada especie consistió en eliminar aquellos: 1) fuera de rango geográfico (latitud y longitud), 2) fuera de su rango altitudinal (según el descriptor de la especie), permitiendo registros entre el cuantil 5 y 95 (y/o ± 500 m), 3) sin precisión (igual o menor de tres dígitos), 4) duplicados (Cobos *et al.*, 2018), 5) registros sin autor de identificación y 6) fuera de la elipse al 99 % de un ACP, empleando 15 variables ambientales y altitud. Después de esto, la autocorrelación espacial entre registros se eliminó con el paquete 'spThin' (Aiello-Lammens *et al.*, 2015), permitiendo un solo registro por pixel (~5 km).

El área de calibración denotada como «M» en el diagrama de «BAM» considera la región geográfica de movilidad de la especie (Soberón y Peterson, 2005), ésta se delimitó de forma preliminar en ArcMap



v.10.5 aplicando un buffer de 70 km de radio a cada registro (depurado) de presencia de la especie estudiada.

Con el paquete 'kuenm' se realizó la calibración, creación y evaluación de los modelos (Cobos *et al.*, 2019), se probaron 16 multiplicadores de regularización (0.1 hasta 1, de 2 hasta 6 y 10), 29 tipos de respuesta y 3 sets diferentes de variables ambientales (opcional), las que cumplieron los criterios de selección antes mencionados, para cada especie. La modelación se realizó aproximadamente con 70 % de los registros; con datos independientes (~30%) se evaluó la capacidad predictiva de los modelos a través de validación cruzada (Mendoza *et al.*, 2011).

El modelo de mejor ajuste seleccionado fue acorde a los estadísticos: 1) ROC parcial (Curva Operada por el Receptor) (Peterson *et al.*, 2008), 2) tasa de omisión < 0.05 %, 3) valor más bajo del Criterio de Información de Aikaike (AICc) (Elith y Leathwick, 2009, Morales *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2013), 4) curvas de respuesta de la especie a los gradientes ambientales (Merrow *et al.*, 2013) y 5) significancia estadística del modelo, *p-values* (Elith y Leathwick, 2009).

El modelo final continuo de probabilidad (idoneidad) de cada especie se clasificó en tres estratos: idoneidad baja, media y alta; para esto, se distribuyeron aleatoriamente 5000 puntos, a los cuales se les extrajo su valor; posteriormente, con el paquete 'stratifyR' (Reddy y Khan, 2020) se calcularon los umbrales de cada estrato acorde al método de Khan *et al.* (2002), Khan *et al.* (2008) y Khan *et al.* (2015). Los modelos finales de idoneidad de cada especie, fueron convertidos en mapas binarios en ArcMap v.10.5, para representar idoneidad-no idoneidad climática. Lo anterior se hizo reclasificando la idoneidad en 1 y 0; el valor de uno (1) se asignó a la idoneidad comprendida entre el valor mínimo del segundo estrato hasta la idoneidad máxima, mientras que el valor de cero (0), correspondió al resto de la idoneidad. Los mapas binarios se manipularon usando álgebra de 'rasters' de cada par de especies (*Pinus-D. mexicanus*), de los cuales se calcularon las AIP, libres de AID.

La similaridad de nichos entre las especies de *Dendroctonus* y *Pinus* se calculó a través de dos índices introducidos por Warren *et al.* (2008): Schoener's (1968) '*D*' y una métrica derivada de distancia Hellinger's llamada '*I*' usando métodos de ordenación (ACP) y el mismo set de variables bioclimáticas para cada especie (Guisan *et al.*, 2014). Una función de densidad de Kernel (parámetros de suavizado estándar) fue aplicada para determinar la densidad 'suavizada' de ocurrencias en cada celda en el espacio ambiental para cada conjunto de datos. Todos los paquetes mencionados en esta investigación se corrieron en R 3.6.3 (R Core Team, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de 283, 3648, 2209 y 772 registros de presencia para *D. mexicanus*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. devoniana*, fueron obtenidos, restando para modelación y validación solo 86, 900, 736 y 255 (30.39, 24.67, 33.32 y 33.03 %). El uso de registros confiables es fundamental en ENM para evitar sesgos en las predicciones, principalmente por que la fuente primaria de datos proviene de un muestreo oportunista (Franklin, 2009).

El ACP realizado para seleccionar las variables por su contribución, explicó 67.63, 73.48, 65.60 y 64.10 % para las diferentes especies; el índice de Kaiser Meyer Olkin (KMO) indicó que la correlación global del ACP fue de 0.68, 0.71, 0.72, y 0.65, respectivamente. Los resultados demuestran que, en las cuatro especies las variables derivadas de temperatura (Bio 1 – Bio 11) son las que más contribución presentaron.

Para cada especie se crearon un total de 1392 modelos candidatos, no todos los modelos resultaron estadísticamente significativos ($\alpha \leq 0.05$), registrando 99.4 % para *D. mexicanus*, 53.5 % para *P. leiophylla*, 99.9 % para *P. teocote* y solo 9.5 % para *P. devoniana*, lo que demuestra que usando los parámetros por default en Maxent, no necesariamente produce el mejor modelo, esto ya ha sido demostrado por varios investigadores (Loiselle *et al.*, 2008; Shcheglovitova *et al.*, 2013). El tipo de respuesta que prevaleció en los modelos seleccionados fue cuadrático, Austin (2002) argumenta que las respuestas de las especies frecuentemente son no lineales; igualmente, la teoría ecológica sugiere que las curvas de respuesta son frecuentemente (Austin, 2007) y por lo tanto, las características cuadráticas pueden ser apropiadas.



La superficie estimada de idoneidad alta en México es 234,649.1, 212,497.4, 177,904.8 y 159,630.4 km² para *D. mexicanus*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. devoniana* (Figura 1a-d).

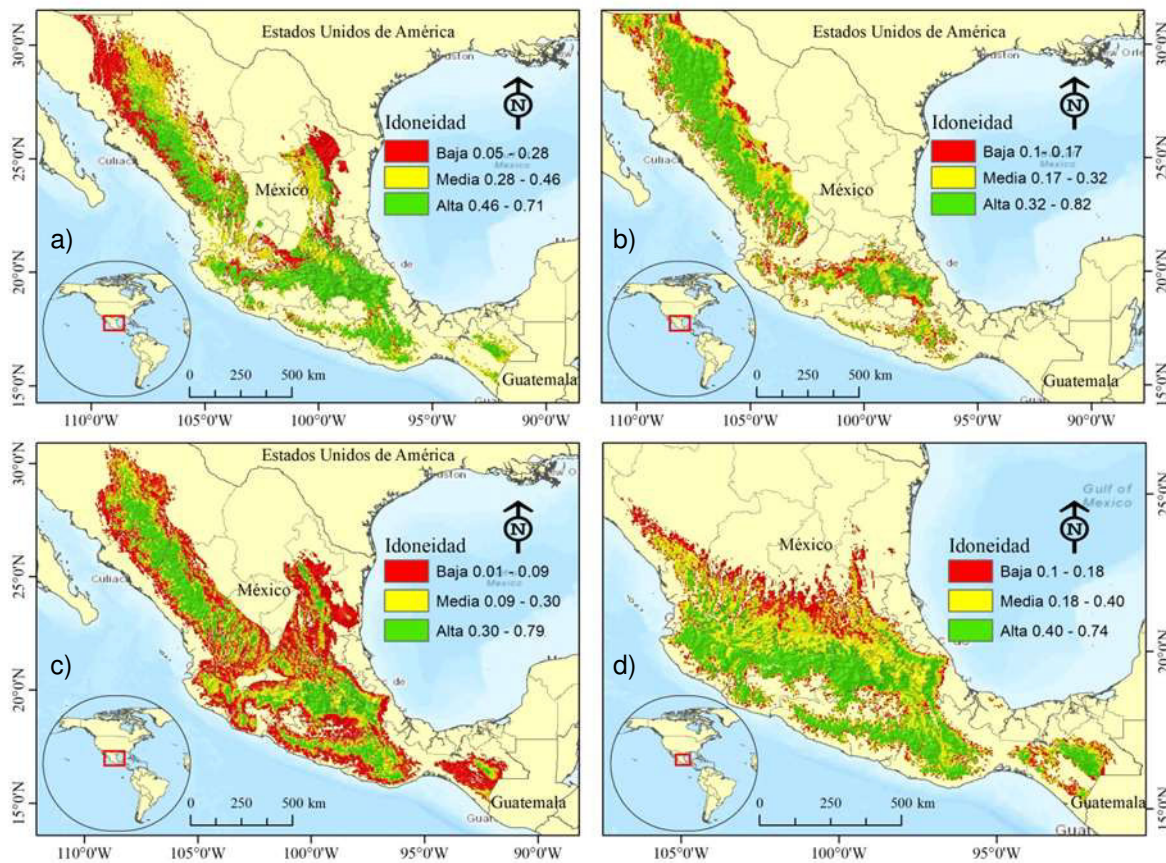


Figura 1. Idoneidad climática en estrato alta, media y baja de: a) *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, b) *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., c) *Pinus teocote* Schiede ex Schtdl. y d) *Pinus devoniana* Lindley.

De igual manera que el ACP las pruebas de jackknife demuestran que las variables derivadas de temperatura contribuyen con más del 80 % a explicar el perfil bioclimático de las especies, en especial, las representativas de valores extremos, como ocurre en la mayoría de los estudios de ENM (Williams y Liebhold, 2002; Stockwell, 2006; Aguirre *et al.*, 2015). Promediando el coeficiente de variación de las variables que más contribuyen al perfil bioclimático de *D. mexicanus*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. devoniana* (Bio 10, Bio 1, Bio 10 y Bio 11, respectivamente) este valor es de 14.3 %, lo que demuestra que los predictores elegidos tanto por ACP como por el algoritmo de 'kuenm', representan adecuadamente el perfil bioclimático de la especie.

En *D. mexicanus* y *P. leiophylla* una sola variable contribuye significativamente el perfil bioclimático de la especie, 87.8 % (Bio 10) y 93.3 % (Bio 1), respectivamente. Otros autores han demostrado (Maldonado *et al.*, 2015; Pearman *et al.*, 2008) que una sola variable predice la distribución de especies de plantas; por el contrario, Austin y Van Niel (2011), reportan modelos de hasta 38 predictores. Cuando la contribución de una sola variable es alta, se corre el riesgo de que si ésta muestra cambios (incremento/decremento) y variabilidad a través del tiempo, tendrá efectos importantes en las predicciones de la idoneidad climática, haciendo vulnerable a la especie en las mismas proporciones; contrario si el modelo se compone de múltiples variables, la contribución se repartiría entre ellas, ampliando la posibilidad que no todas se estén modificando al mismo ritmo, incluso que no lo hagan.

Específicamente en el área de estudio la temperatura media, ha aumentado significativamente en los últimos años (Allen *et al.*, 2018).

Para *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. devoniana*, se encontró que solo 92,995.2, 11,737.4 y 55,964.8 km² están libres de AID (Figura 2); en *P. teocote*, del total de las áreas idóneas resta solo 3.02 %. Smith *et al.* (2013), señalan que menos de 1% es libre de *D. rhizophagus* con todas las especies hospederas de *Pinus*, estas diferencias son explicadas por el umbral de corte elegido para obtener el traslape.

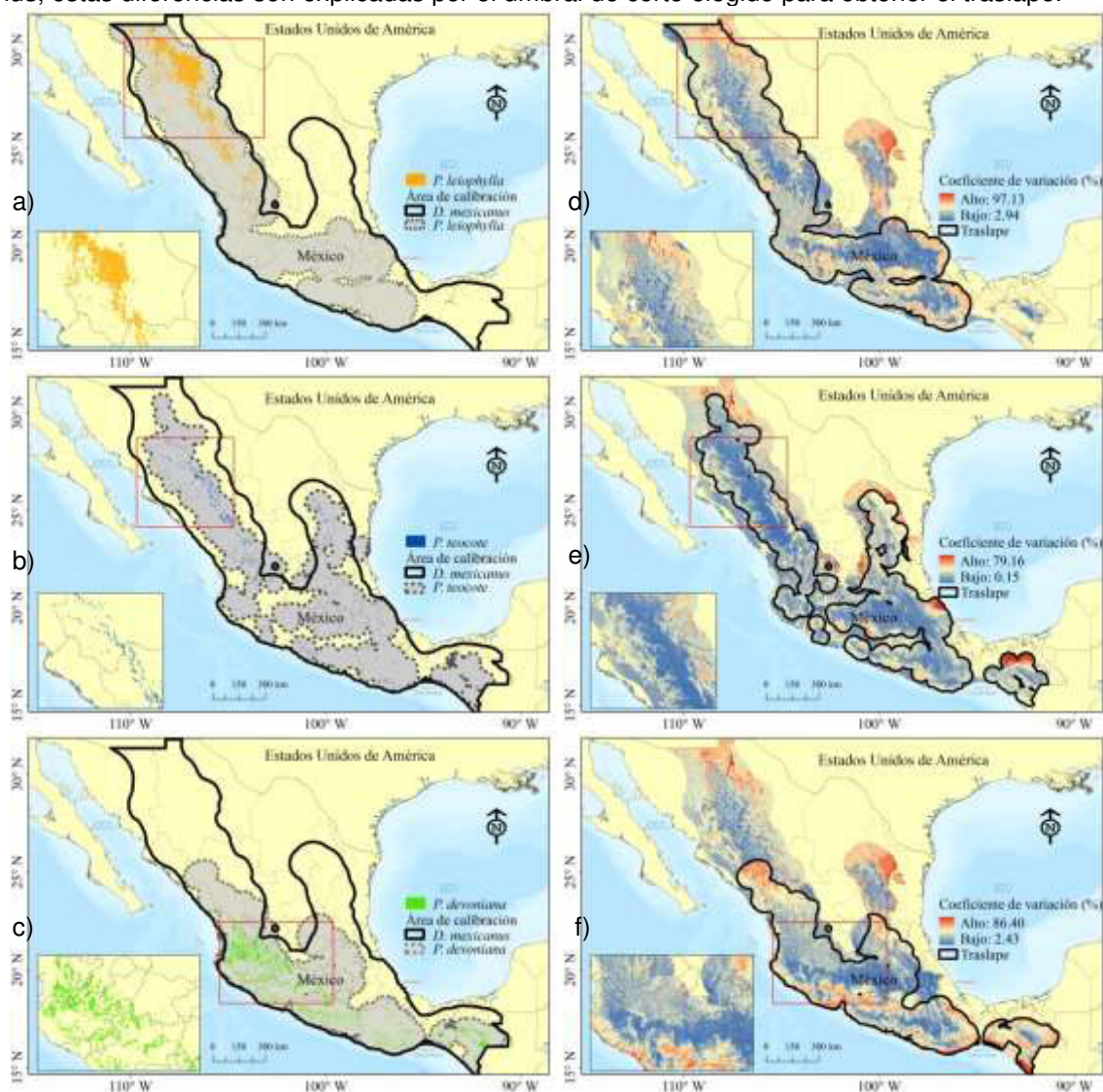


Figura 2. Áreas libres de descortezador, a) *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., b) *Pinus teocote* Schiede ex Schltl. y c) *Pinus devoniana* Lindley, el área de calibración representa la línea continua descortezador y la punteada y el área gris sombreada la de cada especie de pino. Promedio de incertidumbre, expresada como coeficiente de variación del modelo de predicción de cada especie de pino, (d-f).

Los resultados de la similaridad de nichos entre la especie 'invasiva' (*D. mexicanus*) con las especies de pino resultó en: $D=0.48$ y $I=0.67$; $D=0.39$ y $I=0.61$; $D=0.53$ y $I=0.69$, para *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. devoniana*. La varianza explicada por los dos primeros componentes principales fue desde 61.76 %



(*P. devoniana*) hasta 71.73 % (*P. leiophylla*); en todos los casos, las variables derivadas de temperatura contribuyeron más al ACP (CP1) y menor, las de precipitación (CP2) (Figura 3d–f). En su estudio Aguirre *et al.* (2015) muestran que el traslape de nicho en el grupo de pinos blancos no es muy alto en promedio $D=0.20$. Otros autores revelan que una de dos especies muestra un cambio de nicho (shift) (Guisan *et al.*, 2014), esta cifra es muy alta, en especial en especies exóticas, podría ser que los estudios reportaron un shift (cambio) cuando realmente no lo había; menos del 1 % de los estudios muestra conservadurismo de nicho. La proporción del nicho nativo (*P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. devoniana*) no traslape con el nicho de la especie 'invasiva' (*D. mexicanus*), denotado como *Up* (Unfilling) es 31.57, 19.44 y 21.15 %; la expansión de nicho *E* es 1.31, 0.84 y 4.62, mientras que la estabilidad de nicho, es de 98.68, 99.15, 95.37 % respectivamente. El cambio (shift) de centroide de nicho (*C*), de la especie 'invasiva' fue más significativa con *P. leiophylla* y con *P. teocote* (Figura 3a–b), pero en diferentes direcciones, y casi el mismo centroide observado con *P. devoniana* (Figura 6c); en los tres casos, el 'shift' moviéndose sobre el gradiente de temperatura. Algunos autores, sugieren que cambios dramáticos de nichos encontrados sean cuidadosamente interpretados, ya que estos son dependientes de métodos y datos utilizados (Broennimann *et al.*, 2007). Bajo la hipótesis de similaridad de nichos ecológicos de las especies en conservadurismo de nicho (*Pinus*) e 'invasiva', se observó que ambas medidas de similaridad de nicho son significativamente más altas que lo esperado de esta distribución nula, con $p < 0.05$ (Figura 3g–i), por lo tanto, esta hipótesis es rechazada, exceptuando el caso de *D. mexicanus* con *P. devoniana* (Figura 3g–i), donde $p > 0.05$.

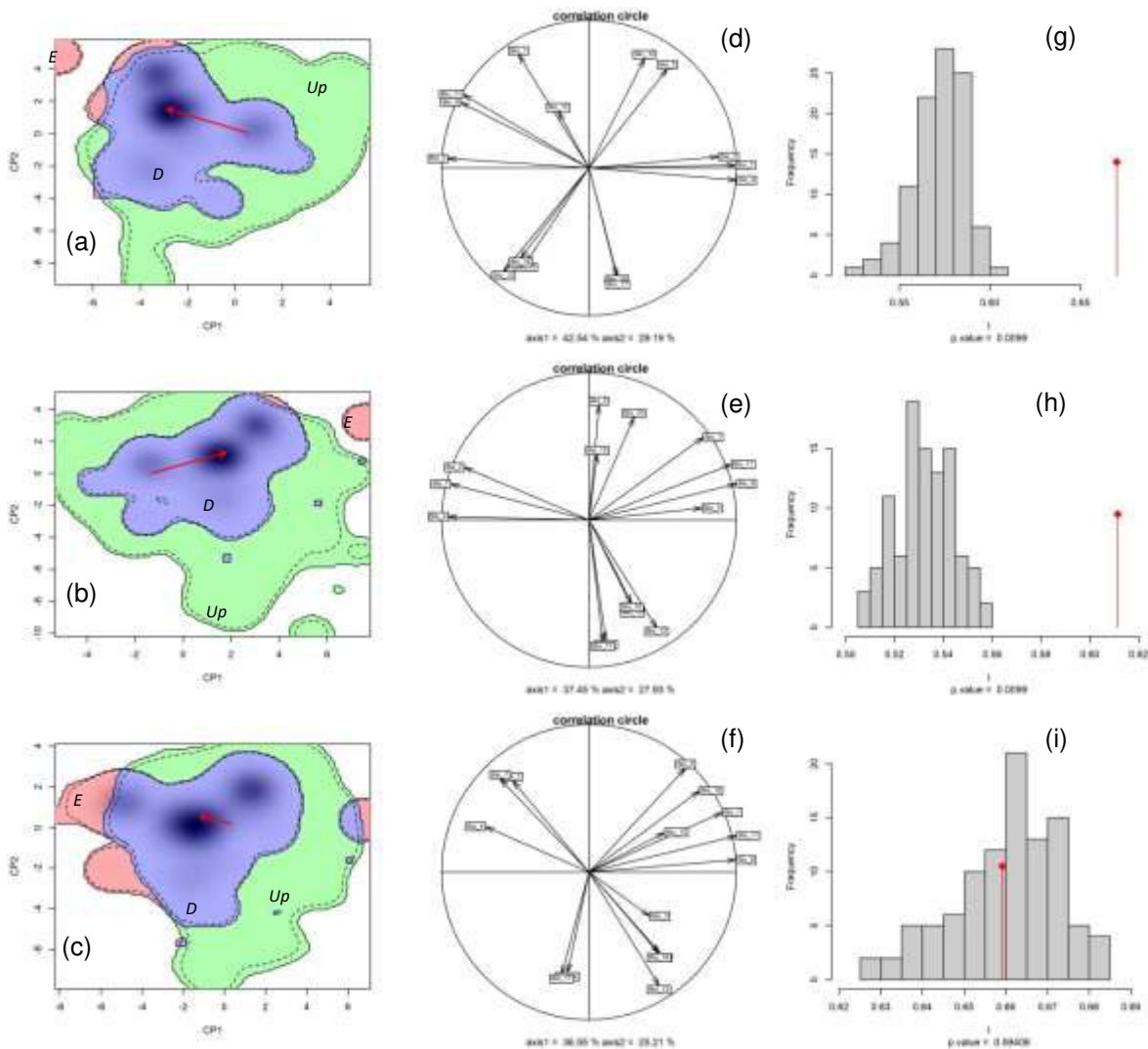


Figura 3. Traslapo de nichos de la especie nativa (color verde) e 'invasiva' (color azul) en ambiente multivariado, el sombreado muestra la densidad de ocurrencias de la especie por celda. La línea continua y punteada representan respectivamente el 100% y 95 % del ambiente disponible (background). La contribución de las variables climáticas en los dos ejes del ACP y la varianza explicada por los dos componentes (d-f). Los histogramas muestran la similitud de nicho observada entre los dos rangos (líneas con rombo) y similitud de nicho simulado (barras grises). *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. (a,d,g), *Pinus teocote* Schiede ex Schtdl. (b,e,h) y *Pinus devoniana* Lindley (c,f,i).

CONCLUSIONES

Las variables que representan extremos de temperatura juegan un papel importante en definir la idoneidad climática de las especies, son también indicadores del cambio climático y por ende evidencias de que éste tendrá un efecto en la distribución de las especies, proporcional a su tasa de cambio. Los métodos de ordenación demuestran que las especies de Pino poseen el nicho ecológico más amplio, *P. leiophylla* y *P. teocote* presentan similitud y equivalencia de nicho con *D. mexicanus*, no así en equivalencia de nicho para *P. devoniana*; en adición, se observa expansión del descortezador hacia



nuevos climas y como consecuencia hacia nuevas áreas geográficas siguiendo sus preferencias climáticas. Se observa muy poca superficie de AIP libre de AID deben ser consideradas como prioritarias para conservación. Esta investigación contribuye a los conocimientos previos de las especies estudiadas, mejorando las delineaciones de su distribución geográfica, de los nichos ecológicos y de las tolerancias climáticas específicas a la especie, herramientas para las acciones y estrategias de manejo de los bosques del país, para la conservación y preservación de las especies.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, G.J., Serna, C.H., Villalobos, A.A., Pérez, D.J. y Raes, N. 2015. Similar but not equivalent: Ecological niche comparison across closely-related Mexican white pines. *Diversity and Distribution*, 21, 245–257.
- Aiello-Lammens, M.E., Boria, R.A., Radosavljevic, A., Vilela, B. y Anderson, R.P. 2015. spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38, 541–545.
- Allen, M.R., Dube, O.P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N. y Mulugetta, Y. Framing and Context. 2018. *En: Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*; Masson-Delmotte, V., Zhai, V., Portner, H., Roberts, D., Skea, J.; Shukla, P., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. y Waterfield, T. Eds.; IPCC: Geneve, Switzerland.
- Armendáriz, T.F., Torres, B.V., Fernanda, L.M., Villa, C.J. y Zúñiga, G. 2012. New record and extension of the distribution range of the bark beetle *Dendroctonus rhizophagus* (Curculionidae: Scolytinae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 850–853.
- Austin, M. 2002. Spatial prediction of species distribution: An interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157, 101–118.
- Austin, M.P. y Van Niel, K.P. 2011. Improving species distribution models for climate change studies: Variable selection and scale. *Journal of Biogeography*, 38, 1–8.
- Beaumont, L.J., Hughes, L. y Poulsen, M. 2005. Predicting species distributions: Use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling*, 186, 251–270.
- Broennimann, O., Treier, U.A., Müller-Schärer, H., Thuiller, W., Peterson, A.T. y Guisan, A. 2007. Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecology Letters*, 10, 701–709.
- Challenger, A. y Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. *En: Capital Natural de México; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Conabio, México.*
- Cibrián, T.D., Méndez, M.J., Campos, B.R., Yates, H.O. y Flores, L.J. *Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma de Chapingo: Estado de México, México, 1995, p. 453.*
- Cobos, M.E., Jiménez, L., Nuñez, P.C., Romero, A.D. y Simões, M. 2018. Sample data and training modules for cleaning biodiversity information. *Biodiversity Informatics*, 14, 49–50.
- Cobos, M.E., Peterson, A.T., Barve, N. y Osorio, O.L. 2019. kuenm: An R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 7, e6281.
- De Marco, P. y Nóbrega, C.C. 2018. Evaluating collinearity effects on species distribution models: An approach based on virtual species simulation. *PLoS ONE*, 13, e0202403.
- Del-Val, E. y Sáenz, R.C. 2017. Insectos Descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y Cambio Climático: Problemática Actual y Perspectivas En Los Bosques Templados. *TIP Rev. Especializada en Ciencias. Químico-Biológicas*, 20, 53–60.
- Eliith, J. y Leathwick, J. 2009. Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677–697.
- Eliith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R. y Lehmann, A. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151.



- Escobar, L.E., Lira, N.A., Medina, V.G. y Peterson, A.T. 2014. Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: Use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial Health*, 9, 221–229.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. El estado de los bosques del mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible; FAO: Roma, Italy, 2018, p. 52.
- Franklin, J. 2009. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*; Cambridge University Press: Cambridge, UK. 320 p.
- Guisan, A., Petitpierre, B., Broennimann, O., Daehler, C. y Kueffer, C. 2014. Unifying niche shift studies: Insights from biological invasions. *Trends in Ecology Evolution*, 29, 260–269.
- Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria, A.R., Zimmermann, N.E., Linder, H.P. y Kessler, M. 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4, 1–20.
- Khan, E.A., Khan, M.M. y Ahsan, M.J. 2002. Optimum stratification: A mathematical programming approach. *Calcutta Statistical Association Bulletin*, 52, 323–333.
- Khan, M.M., Nand, N. y Ahmad, N. 2008. Determining the optimum strata boundary points using dynamic programming. *Survey Methodology*, 34, 205–214.
- Khan, M.M., Reddy, K.G. y Rao, D.K. 2015. Designing stratified sampling in economic and business surveys. *Journal of Applied Statistics*, 42, 2080–2099.
- Lê, S., Josse, J. y Husson, F. 2008. FactoMineR: An R Package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25, 1–18.
- Loiselle, B.A., Jørgensen, P.M., Consiglio, T., Jiménez, I., Blake, J.G., Lohmann, L.G. y Montiel, O.M. 2008. Predicting species distributions from herbarium collections: Does climate bias in collection sampling influence model outcomes. *Journal of Biogeography*, 35, 105–116.
- Maldonado, M.J., Cera, J.I., Mendoza, A.R., Sáenz, L.A., Torres, O.M., Bravo, P.L. y Alatorre, C.L. 2015. Distribución potencial de *Dendroctonus valens* mediante modelos de máxima entropía: Estado de California, E.U. *Rev. Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 6, 194–198.
- Méndez, E.F., Méndez, G.J. y Cerano, P.J. 2020. Distribución actual y potencial de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins bajo dos escenarios de cambio climático. *Madera Y Bosques*, 26, 1–14.
- Mendoza, M.G., Salinas, M.Y., Olivo, M.A. y Zúñiga, G. 2011. Factors influencing the geographical distribution of *Dendroctonus rhizophagus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Environmental Entomology*, 40, 549–559.
- Morrow, C., Smith, M.J. y Silander, J.A. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36, 1058–1069.
- Morales, N.S., Fernández, I.C., Baca-González, V. 2017. MaxEnt's parameter configuration and small samples: Are we paying attention to recommendations? A systematic review. *PeerJ*, 5, e3093.
- Pearman, P.B., Randin, C.F., Broennimann, O., Vittoz, P., Knaap, W.O., Engler, R., Le-Lay, G., Zimmermann, N. y Guisan, A. 2008. Prediction of plant species distributions across six millennia. *Ecology Letters*, 11, 357–369.
- Peterson, A.T., Papeş, M. y Soberón, J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213, 63–72.
- Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez, M.E., Nakamura, M. y Araújo, M.B. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press: Princeton, NJ, U.S.A. 328 p.
- Reddy, K.G. y Khan, M.G. 2020. stratify: An R Package for optimal stratification and sample allocation for univariate populations. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 62, 383–405.
- Rzedowsky, J. 1978. *Vegetación de México*. (1era ed.). Ciudad de México, México: Editorial Limusa, 1978. 432 p.
- Salinas, M.Y., Ager, A., Vargas, C.F., Hayes, J.L. y Zúñiga, G. 2010. Determining the vulnerability of Mexican pine forests to bark beetles of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Forest Ecology and Management*, 260, 52–61.



-
- Salinas, M.Y., Mendoza, G.M., Barrios, M.A., Cisneros, R., Macías, S.J. y Zúñiga, G. 2004. Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in México. *Journal of Biogeography*, 31, 1163–1177.
- Shcheglovitova, M. y Anderson, R.P. 2013. Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small sample sizes. *Ecological Modelling*, 269, 9–17.
- Smith, S.E., Mendoza, M.G., Zúñiga, G., Halbrook, K., Hayes, J.L. y Byrne, D.N. 2013. Predicting the distribution of a novel bark beetle and its pine hosts under future climate conditions. *Agricultural and Forest Entomology*, 15, 212–226.
- Soberón, J. y Peterson, T.A. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10.
- Stockwell, D. 2006. Improving ecological niche models by data mining large environmental datasets for surrogate models. *Ecological Modelling*, 192, 188–196.
- Warren, D.L., Glor, R.E. y Turelli, M. 2008. Environmental niche equivalency versus conservatism: Quantitative approaches to niche evolution. *Evolution*, 62, 2868–2883.
- Williams, D.W. y Liebhold, A.M. 2002. Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. *Agricultural Forest Entomology*, 4, 87–99.
- Willis, K.J. y Whittaker, R.J. 2002. Species diversity-scale matters. *Science*, 295, 1245–1248.
- Wood, S.L. 1982. *The Bark and Ambrosia Beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae)* a Taxonomic Monograph. Utah, USA: Editorial Great Basin Naturalist Memoirs, 1359 p.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- R Core Team, 2020. <https://www.r-project.org/> (consultado el 11 Mayo 2020).



EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PETRÓLEO EN SUELO RIZOSFÉRICO SOBRE EL CRECIMIENTO DE *LEERSIA HEXANDRA* Sw.

EVALUATION OF THE EFFECT OF OIL ON RHIZOSPHERIC SOIL ON THE GROWTH OF *LEERSIA HEXANDRA* Sw.

¹Orocio Carrillo JA, ¹Rivera Cruz MC, ¹Bautista Muñoz CC, ¹Aranda Ibañez EM y ²Juárez Maldonado A.

¹Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carretera Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tabasco 86500, México.

²Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila, México.

Autor para correspondencia: orocio.alberto@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la concentración de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) sobre el crecimiento de *Leersia hexandra*. Se realizó un experimento bajo condiciones semicontroladas en microtúnel con cuatro tratamientos (0, 30, 60 y 90 g kg⁻¹ de HTP). Las variables de crecimiento evaluadas a los 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 y 154 días después de establecido el experimento fueron: altura de la planta, tasa de crecimiento relativo (TCR) y número de hijuelos en el macollo (NHM). El efecto del HTP bajo la dosis de 30, 60 y 90 g kg⁻¹ de HTP disminuyó la altura en un 16.44, 28.38 y 66.61% respectivamente y la TCR del 19.78, 36.18 y 73.48%, sin embargo, estimuló el crecimiento del NHM en un 208.34% a exposición 90 g kg⁻¹ de HTP, además de un aumento del 92.60 y 146.03% cuando la planta fue expuesta a 30 y 60 g kg⁻¹ de HTP respectivamente. Con respecto al tiempo de exposición, se destaca que conforme a la prolongación del tiempo se produce un efecto positivo en la altura y NHM, mientras que la TCR disminuye.

Palabras claves: *Hidrocarburos totales del petróleo, altura, Leersia hexandra, tasa de crecimiento, número de hijuelos en el macollo.*

INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos de petróleo consisten en diversas proporciones de carbono e hidrógeno. Sin embargo, también contienen nitrógeno, azufre y oxígeno en cierta cantidad (Chandra *et al.*, 2013; Varjani *et al.*, 2017). Son esenciales para las actividades humanas tales como fuente de alimentación, calefacción y vehículos. Sin embargo, es posible que en su extracción se genere contaminación del suelo, debido a constantes derrames accidentales (Aislabie *et al.*, 2006; Velásquez, 2017). Según la PROFEPA en el 2017 se generaron 655 notificaciones de la ocurrencia de emergencias ambientales, de las cuales 259 fueron provocadas por derrames de hidrocarburos y otras sustancias químicas, 126 por explosiones, 106 por fugas, 152 por incendios y 12 por otras causas (PROFEPA, 2018). Estas sustancias de mayor peso molecular persisten en el suelo por tiempos prolongados (Madigan *et al.*, 2015), se acumula en el suelo y forma una capa hidrofóbica, induciendo la fragmentación de los agregados (Díaz-Martínez *et al.*, 2013). Diversos estudios demuestran que los constituyentes del petróleo pueden inhibir la germinación, el brote de meristemas, así como la disminución de la elongación radicular y la fotosíntesis en las plantas (Pérez *et al.*, 2002; Gafari-Rahbar *et al.*, 2012; Sangeetha y Thangadurai, 2014). Serrano *et al.* (2013) reportan que la contaminación por hidrocarburos de petróleo conduce a la pérdida de nutrientes minerales del suelo, tales como potasio, sodio, sulfato, fosfato, y nitrato. La presencia de estos contaminantes, ha dado lugar a la pérdida de la fertilidad del suelo (Velásquez, 2017). Sin embargo, algunas gramíneas, como los pastos tropicales, se adaptan a las condiciones de estrés causadas por el petróleo (Sang-Hwan *et al.*, 2007; Maldonado-Chávez *et al.*, 2010). Tal es el caso del pasto *Leersia hexandra* una especie forrajera que crece en humedales del trópico en México, esta desplaza otras especies vegetales establecidas en humedales en el estado de Tabasco, contaminados con hidrocarburos del petróleo intemperizado (Rivera-Cruz, 2011; Rivera-Cruz



y Trujillo-Narcía, 2013). Es una opción interesante evaluar el comportamiento del pasto *Leersia hexandra* al efecto del petróleo fresco, debido a su crecimiento en humedales, por su sistema de raíz rizomatoso y largos estolones fibrosos, que le permiten sobrevivir en periodos de sequía, lluvias y nortes (tormentas con fuertes vientos), además de ser una planta tolerante a la contaminación por petróleo (Aparicio *et al.*, 2007; Rivera-Cruz, 2011; Shao- Hong *et al.*, 2013). Por lo anterior el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del petróleo en el pasto *Leersia hexandra* SW. en cuanto a su crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta de suelo caracterizado como tipo Gleysol a partir del horizonte superficial (0-30 cm) se realizó en el Ejido Blasillo 2da Sección, Huimanguillo, Tabasco. El Suelo se secó bajo sombra, se molió y se tamizó en malla de 0.5 cm de abertura. Los rizomas del pasto *Leersia hexandra* se colectaron en un sitio que presentó un derrame crónico de petróleo desde hace 30 años en la cual han persistido diversas concentraciones de petróleo, en el Ejido José Narciso Roviroso, a dos kilómetros del complejo procesador de Gas la Venta, Huimanguillo, Tabasco (18°4' 39.83" N y 94° 2' 39.42" O). El tipo de suelo es caracterizado como Gleysol.

Se seleccionaron vástagos con yemas maduras, posteriormente se colectaron en charolas para su traslado al invernadero. De los tallos maduros se cortaron estolones de cinco centímetros de longitud con raíces, estas se sembraron en charolas de plástico con capacidad de 200 plántulas, con suelo Gleysol tamizado en malla 12 (2 mm de diámetro).

A los 30 días después de la siembra (DDS) crecieron plantas de 19.5 cm, las cuales se usaron en el bioensayo experimental.

Establecimiento del bioensayo

El bioensayo tuvo una duración de 154 días en condiciones semicontroladas de túnel de plástico, bajo un diseño experimental al azar con arreglo factorial 4x11; cuatro dosis de petróleo fresco (0, 30, 60 y 90 g kg⁻¹ HTP) y 11 tiempos (14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 y 154 DDS), un total de 44 tratamientos con cuatro replicas. El petróleo se obtuvo del campo petrolero "Cinco Presidentes" La Venta, Tabasco, México (18° 12' 11.8" N y 94° 08' 37.8" O). La unidad experimental consistió de un contenedor de plástico (22 X 19 cm, diámetro y altura) con 2.0 kg de suelo seco.

Los sustratos para los ensayos se prepararon a partir de suelo testigo (0 g/kg HTP) la cual en una charola de aluminio con una espátula se mezcló con petróleo crudo mediano (10.8° API) disuelto en 15 mL de diclorometano (99.5% de pureza marca EMD™) para homogeneizar el suelo. La mezcla se colocó en contenedores de plásticos. En cada unidad experimental de cada tratamiento se transplantó una planta de *Leersia hexandra*. El bioensayo se mantuvo a capacidad de campo (32% de humedad) con riego cada 24 horas para evitar el estrés hídrico.

Crecimiento

Se evaluaron a los 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 y 154 días: altura del pasto, número de hijuelos en el macollo (NHM) y tasa de crecimiento relativa (TCR). La altura consistió en medir con una regla graduada desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja central de la planta. El NHM se realizó contando directamente la cantidad de plantas que emergen del macollo de la planta principal. La TCR se determinó mediante la fórmula de Hunt *et al.*, (2002):

$$TCR = (\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1)$$

Donde:

In: logaritmo natural

w: longitud de estolón

t: tiempo

Análisis estadísticos.

Para cada una de las variables evaluadas se realizó un análisis de varianzas (ANAVA) y se efectuó la prueba de comparación múltiples de medias por el método Tukey ($p \leq 0.05$) usando el software estadístico InfoStat versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura, tasa de crecimiento relativo y número de hijuelos en el macollo

Los análisis de varianza reportados en el Cuadro 1, de la variable altura de la planta, NHM y TCR mostraron diferencias altamente significativas por efecto de las concentraciones de HTP, el tiempo de evaluación y su interacción. El tiempo de exposición de *L. hexandra* en suelo contaminado indujo variaciones significativas en la altura, TCR y NHM al aumentar los días de exposición

Los resultados de altura ($R^2 = 0.9311$; $b = -2.1139$) y TCR ($R^2 = 0.9635$; $b = -0.0352$) presentaron variaciones significativas entre los tratamientos (Figura 1). Se observa que conforme aumenta la dosis de petróleo disminuye la altura y TCR con respecto al testigo, encontrándose una disminución en la altura del 16.44, 28.38 y 66.61% y en TCR del 19.78, 36.18 y 73.48% en dosis de 30, 60 y 90 g kg⁻¹ de HTP respectivamente. Este efecto de disminución de la altura de la planta conforme aumenta la dosis de petróleo en el suelo también fue reportado por Arias-Trinidad *et al.* (2017), al evaluar al día 12, 25, 39, 54, 68, 82 y 96 la longitud de la planta al exponerlo a 1500, 3000, 4500, 6000, 7500 y 9000 g kg⁻¹ de HTP, causando su inhibición. Este efecto negativo se atribuye a las condiciones adversas que se genera por los cambios físicos y químico del suelo por los hidrocarburos (aumento del carbono orgánico, concentración de nitrógeno, pH, conductividad eléctrica y contenido de arcilla), induciendo la reducción de la altura, densidad de tallos, tasa fotosintética y la biomasa por intoxicación de compuestos aromáticos de bajo peso molecular (Olguín *et al.*, 2007; Khan *et al.*, 2013; Hernández-Valencia *et al.*, 2017) o posiblemente a la completa saturación de nanoporos del suelo con aceite, dificultando que la planta se adaptara por la obstrucción de poros que causa un pobre intercambio de gases y menor flujo de agua, lo que reduce el suministro de nutrientes y la disponibilidad para la planta (Oluwafemi *et al.*, 2008). Los resultados de NHM ($R^2 = 0.9853$; $b = 0.2874$) varió con las diferentes concentraciones en el suelo, encontrándose una estimulación del 208.34% a exposición 90 g kg⁻¹ de HTP, además de un aumento del 92.60 y 146.03% cuando la planta fue expuesta a 30 y 60 g kg⁻¹ de HTP respectivamente. Esta estimulación posiblemente se asocia a hormonas que se encuentran involucradas en el crecimiento radical como las auxinas, que actúan para promover el desarrollo de los brotes en las plantas (Escaso *et al.*, 2010). Efecto similar reportó González-MoscOSO *et al.* (2017) al encontrar la mayor estimulación de rebrotes (39) en *Leersia hexandra* al exponerlo a una concentración de 90 g kg⁻¹ de HTP durante 180 DDS con respecto al control (21), de la misma forma se mostró el mismo efecto positivo en TCR al día 180 conforme la dosis aumentaba. Con respecto al tiempo de exposición de *L. hexandra* se destaca que conforme a la prolongación del tiempo se produce un efecto positivo en la altura y NHM, mientras que la TCR disminuye (Figura 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para la altura de la planta, tasa de crecimiento relativo (TCR) y número de rebrotes en el macollo (NRM)

Fuente de variación	HTP	Tiempo (días)	HTP*Tiempo
Altura (cm)	***	***	***
TCR (cm día ⁻¹)	***	***	***
NRM	***	***	***

*, **, *** = $p \leq 0.05, 0.001, 0$, respectivamente. HTP: hidrocarburos totales del petróleo, n=4

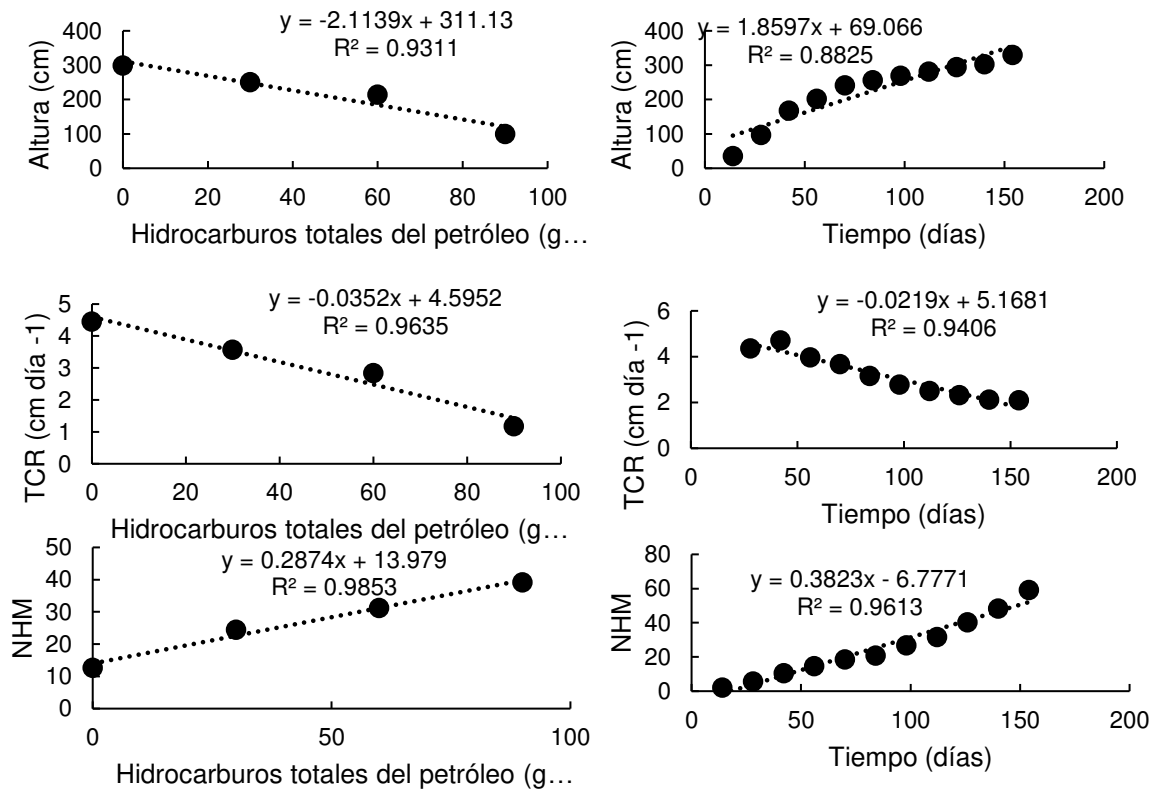


Figura 1. Regresión lineal de las variables de *L. hexandra* (longitud de estolones, tasa de crecimiento relativa y número de rebrotes en el macollo) con respecto al contenido de hidrocarburo del petróleo y el tiempo ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIÓN

El estrés vegetal de *Leersia hexandra* en suelos contaminados con HTP fue inversamente proporcional a la concentración de los tratamientos en la altura de la planta y la tasa de crecimiento relativo las cuales fueron más sensibles. Sin embargo, estos tratamientos provocaron la estimulación en la producción del número de hijuelos en el macollo, encontrándose mayor rebrote en el día 154 a una concentración de 90 g kg^{-1} de HTP.

LITERATURA CITADA

- Aislabie J., Saul D.J., y Foght J.M. 2006. Bioremediation of hydrocarbon contaminated polar soils. *Extremophiles*. 10: 171-179.
- Arias-Trinidad A., Rivera-Cruz M.C. y Trujillo-Narcía A. 2017. Fitotoxicidad de un suelo contaminado con petróleo fresco sobre *Phaseolus vulgaris* L. (Leguminosae). *Revista Internacional de Contaminación ambiental*. 33: 411-419.
- Aparicio R. González-Ronquillo M., Torres R., Astudillo L., Córdova L. y Carrasquel J. 2007. Degradabilidad de los pastos lambedora (*Leersia hexandra*) y paja de agua (*Hymenachne amplexicaulis*) en cuatro épocas del año de una sábana inundable del estado Apure, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 25: 225-228.
- Chandra S., Sharma R., Singh K. y Sharma A. 2013. Application of bioremediation technology in the environment contaminated with petroleum hydrocarbon. *Annals of Microbiology*. 63: 417-431.
- Díaz-Martínez E., Alarcón A., Ferrera-Cerrato R., Almaraz-Suarez J.J. y García-Barradas O. 2013. Crecimiento de *Casuarina equisetifolia* (Casuarinaceae) en suelo con diesel, y aplicación de bioestimulación y bioaumentación. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 61 (3): 1039-1052.



- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Escaso, S.F., Martínez G.J.L. y Planelló C.M.R. 2010. Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal. Pearson Educación, S.A. Madrid, España, 251 pp.
- Gafari-Rahbar F., Kiarostami K. y Shirdam R. 2012. Effects of petroleum hydrocarbons on growth, photosynthetic pigments and carbohydrate levels of sunflower. *J. Food Agric. Environ.* 10 (1), 773-776.
- González-Moscoso M., Rivera-Cruz M.C., Delgadillo-Martínez J. y Lagunes-Espinoza L.C. 2017. Growth analysis and plant production of *Leersia hexandra* Swartz in tropic wet Mexican in function on petroleum and surfactant. *Polibotanica.* 43: 177-196.
- Hernández-Valencia I., Lárez L.M., y García J.V. 2017. Evaluación de la toxicidad de un suelo contaminado con diferentes tipos de crudos sobre la germinación de dos pastos tropicales. *Bioagro.* 29: 73-82.
- Hunt R., Causton D.R., Shipley B., y Askew P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Ann Botany.* 90: 485-488.
- Khan S., Afzal M., Iqbal S., y Khan Q.M. 2013. Plant-Bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. *Chemosphere,* 90: 1317-1332.
- Madigan M. T., Martinko J.M., Bender K.S., Buckley D.H. y Stahl D.A. 2015. *Biología de los Microorganismos.* 14a. ed. Pearson Educación, S.A. Madrid, España. 1099 p.
- Maldonado-Chávez E., Rivera-Cruz M.C., Izquierdo-Reyes F. y Palma-López D.J. 2010. Efectos de la rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación y fitorremediación de suelos con petróleo crudo nuevo e intemperizado. *Universidad y Ciencia.* 26(2): 121-136.
- Olgún E.J., Hernández M.E y Sánchez-Galván G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 23: 139-154.
- Oluwafemi D. O., O. Matthew, A. A. Sunday, O. A. Olukayode, and O. O. Ganiyu. 2008. Microbial population changes in tropical agricultural soil experimentally contaminated with crude petroleum. *African Journal of Biotechnology.* 7: 4512-4520.
- Pérez V.J., García E.G. y Esparza G.F. 2002. Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación. *Avance y Perspectiva* 21 (1): 297-300.
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). 2018 <https://www.gob.mx/profepa/prensa/atiende-profepa-emergencias-ambientales-y-restauracion-de-sitios-contaminados-hasta-su-total-remediacion>.
- Rivera-Cruz M.C. 2011. Bacterias y hongos en suelos contaminados con petróleo crudo en Tabasco. In: Recursos Genéticos microbianos en la Zona Golfo-Sureste de México V-1. Gamboa A.M., y Rojas H.R. (eds.). Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Microbianos (SUBNARGEM). Morelia Michoacán, México. pp: 77-87.
- Rivera-Cruz M. C. y Trujillo-Narcía A. 2013. Dinámica de la biomasa vegetal y atenuación natural de los hidrocarburos del petróleo en un humedal del sureste de México. *En: Memoria XXXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* La Paz, Baja California Sur, México. pp: 55-62.
- Sangeetha J. y Thangadurai D. 2014. Effect of biologically treated petroleum sludge on seed germination and seedling growth of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae). *Braz. Arch. Biol. Techn.* 57 (3), 427-433.
- Sang-Hwan L., Won-Seok L., Chang-Ho L. y Jeong-Gyu K. 2007. Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. *J. Hazard Mater.* 141: 519-525.
- Serrano M.F., Torrado L.M., y Pérez D.D. 2013. Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Ciencia y Tecnología.* 11: 233-244.
- Varjani S. J. 2017. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology.* 223: 277-286.
- Velásquez A.J. A. 2017. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de investigación Agraria y Ambiental.* 8 (1): 151-167.



EFFECTO DE LOS CONTENIDOS DE EXTRACTOS Y CENIZAS EN EL PODER CALORIFICO DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

EFFECT OF EXTRACTS AND ASH CONTENTS ON THE CALORIFIC VALUES OF LIGNOCELLULOSIC MATERIALS

¹Honorato Salazar Ja, ¹apolinar Hidalgo F, ²degabriel Valencia B, ²colotl Hernández G.

¹INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental San Martinito, km 52.5 56.5 Carretera Federal México-Puebla, San Martinito, Tlahuapan, Puebla, México.

²Prestador de Servicios Profesionales.

*Autor para correspondencia: honorato.amador@inifap.gob.mx

RESUMEN

Los materiales lignocelulósicos tienen un gran potencial para la obtención de energía renovable, por lo que es importante conocer las propiedades específicas que afectan su eficacia energética. El poder calorífico es uno de los parámetros importantes de estos materiales porque permite conocer el suministro de energía que se puede obtener por unidad de peso o volumen, pero es afectado por algunas otras propiedades como la cantidad de cenizas y extractos, por cual, este trabajo se realizó con el objetivo de determinar si los contenidos de extractos y cenizas afectan el poder calorífico de 122 muestras de diferentes materiales lignocelulósicos del país. Los valores de poder calorífico y la cantidad de cenizas se realizaron con base a las normas ASTM E711 y D1102, respectivamente, mientras que el contenido de extractos en etanol-benceno y etanol con los procedimientos de la norma TAPPI T204. Los valores obtenidos se correlacionaron con el método de Pearson ($\alpha = 0.05$). Los resultados obtenidos indican que tanto el contenido de cenizas como el de extractos en etanol-benceno y etanol tienen un efecto negativo, con una correlación respectiva de -55.1%, -41.3% y -62.4%, por lo que los materiales con mayor cantidad de cenizas y extractos tienen menor valor calorífico, haciéndolos menos favorables para su uso como combustible.

Palabras clave: *Extractivos, madera, residuos agrícolas, residuos forestales.*

INTRODUCCION

En los últimos años se ha incrementado el interés por la producción de energías limpias, sustentables y renovables con el objetivo de disminuir el efecto de gases de tipo invernadero (IRENA, 2017).

La biomasa representa un gran potencial para la producción y el consumo de energía renovable. Existen muchas fuentes de biomasa compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que se le conoce como biomasa lignocelulósica (Zamani, 2015). En este tipo de biomasa se encuentran los materiales lignocelulósicos que incluyen residuos generados de la cosecha de cultivos agrícolas, de las operaciones silvícolas y aprovechamiento de árboles, así como los residuos generados por la agroindustria y la industria forestal.

Algunos estudios en México han estimado la cantidad de residuos disponibles y su potencial energético en diferentes regiones del país para su uso en la producción de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos (Rios y Kaltschmitt, 2013; Lozano-García *et al.*, 2020; Molina-Guerrero *et al.*, 2020), por lo que se requiere de realizar los estudios de caracterización fisicoquímica y energética de los diversos residuos, debido a que afectan su desempeño en la producción de energía.

El contenido de extractos y cenizas son parámetros importantes que afectan directamente el valor energético de los materiales lignocelulósicos (Demirbas, 2002). El poder calorífico aumenta con el aumento del contenido de extractos, mientras que disminuye con el aumento en la cantidad de cenizas (Demirbas, 2002; Ramos e Paula *et al.*, 2011; Rossi *et al.*, 2013; Duruaku *et al.*, 2016; Jóvér *et al.*, 2018). Este comportamiento ha sido estudiado para algunas maderas de México (Martínez-Pérez *et al.*, 2015; Ngangyo-Heya *et al.*, 2016; Ruiz-Aquino *et al.*, 2019); sin embargo, existen estudios limitados de otros materiales lignocelulósicos en el país, por lo que este estudio se realizó con el objetivo de



determinar el efecto de los contenidos de extractos y cenizas en el poder calorífico de diferentes materiales lignocelulósicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron muestras de madera y residuos agrícolas de diferentes partes del país (Figura 1) de 2006 a 2019, con el fin de realizar su caracterización calorífica y fisicoquímica. Los datos se conjuntaron en una base de datos, de donde se obtuvieron los valores de poder calorífico, contenidos de extractos de etanol-benceno, extractos de etanol y cenizas. Se tomaron los valores promedio de 122 muestras, conformadas por bagazos de agave pulquero (*Agave atrovirens* Karw. ex Salm-Dyck), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), manzana (*Malus domestica* Borkh.) y naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck); pastos (*Cenchrus echinatus* L., *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton, *Panicum maximum* Jacq., *Pennisetum purpureum* Schumach), bambú (*Bambusa* sp, *Guadua* sp), rastrojo de maíz (*Zea mays*), paja de trigo (*Triticum aestivum*), pulpa de café (*Coffea arabica*) aserrín y costeras de pino de 6 aserraderos (Puebla [2], Oaxaca [1], Durango [3]), madera de 7 especies de pino (*Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schtdl., *P. cooperi* Blanco, *P. durangensis* Martínez, *P. engelmanni* Carr., *P. herrerae* Martínez, *P. leiophylla* Schlecht. & Cham., *P. pseudostrobus* Lindl), madera de 9 especies tropicales (*Belotia mexicana* (DC.) K. Schum., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Heliocarpus donnell-smithii* Rose, *Hevea brasiliensis* (Willd.) Muell.-Arg., *Ochroma pyramidale* Cav. Ex Lam., *Schizolobium parahybum* (Vell.) Blake, *Sterculia apetala* (Jacq.) Karst., *Vochysia guatemalensis* J. D. Smith, *Zanthoxylum belizense* Lundell), madera de otras 3 especies (*Alnus* sp., *Acacia pennatula* Schtdl. & Cham., *Trema micrantha* (L.) Blume) y tallos de 16 variedades de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

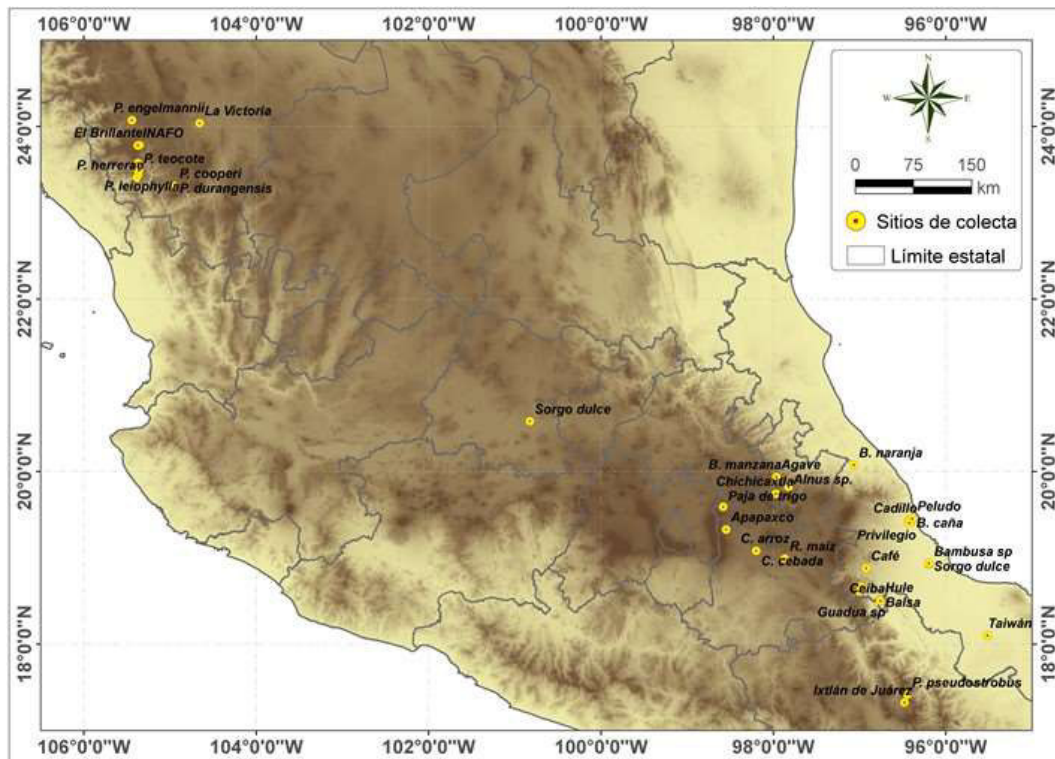


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo de los materiales lignocelulósicos.

Las muestras se secaron a temperatura ambiente bajo techo y después se molieron en un molino Willey, tamizándose después entre mallas del No. 40 (0.425 mm) y 60 (0.250 mm). El material retenido en la malla 60 se almacenó en bolsas de polietileno con cierre hermético hasta llevar a cabo las diferentes determinaciones. En cada determinación se realizaron 5 repeticiones.



El poder calorífico se determinó en 1 g de material comprimido en un calorímetro de bomba (Isoperibol, Parr 1266) con base a la norma ASTM E711 (ASTM, 1996) y a las instrucciones de operación del calorímetro (Parr, 1999) a una temperatura de $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$. A la par se determinó contenido de humedad de las muestras en una balanza de humedad Ohaus MB45®, previamente calibrada. Los valores de poder calorífico se expresaron con base al peso anhidro de la muestra (libre de humedad) mediante la fórmula siguiente (ISO, 2017):

$$PC_a = (PC_m \times 100) / (100 - CH)$$

Donde: PC_a = Poder calorífico de la muestra anhidra, PC_m = poder calorífico de la muestra analizada, CH = Contenido de humedad (base anhidra) de la muestra.

El contenido de extractos en etanol-benceno y etanol se cuantificaron gravimétricamente siguiendo los procedimientos de la norma TAPPI T204 (TAPPI, 2007). La determinación de cenizas se realizó de acuerdo con la norma ASTM D1102 (ASTM, 2009).

Se realizó una correlación de los valores de poder calorífico, cenizas y extractos de etanol-benceno y etanol con el método de Pearson ($\alpha = 0.05$) usando el programa estadístico de SAS (SAS, 2009). La gráfica de dispersión de los valores obtenidos se realizaron con Excel 2019.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra la correlación del poder calorífico de los materiales lignocelulósicos con los contenidos de extractos y cenizas, indicando que los contenidos influyen negativamente en el valor energético de los materiales.

Cuadro 1: Coeficientes de Correlación de Pearson

N = 122, Probabilidad > r bajo H0: Rho=0			
			Poder calorífico
Poder calorífico		r	1.0000
Extractos	Etanol-benceno	r	-0.41263
		Probabilidad	< 0.0001
	Etanol	r	-0.62366
		Probabilidad	< 0.0001
Cenizas		r	-0.55084
		Probabilidad	< 0.0001

Los extractos son compuestos químicos que pueden ser extraídos con diferentes solventes y están constituidos principalmente por grasas, ácidos grasos, alcoholes grasos, fenoles, terpenos, terpenoides, esteroides, ácidos de resina, colofonia, ceras y muchos otros compuestos orgánicos menores (Rowell *et al.*, 2013). Algunos estudios reportan que los extractos aumentan el poder calorífico de los materiales lignocelulósicos (Demirbas, 2002; Ngangyo-Heya *et al.*, 2016; Ruiz-Aquino *et al.*, 2019), aunque esto depende de las condiciones de crecimiento y de la procedencia botánica del material, así Rossi *et al.* (2013), reportan que en algunas maderas el comportamiento es opuesto, en el que contenido de extractos disminuyen el valor del poder calorífico, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio.

La ceniza es el residuo que permanece después de la combustión de la materia orgánica, compuesta por sales minerales y una mezcla compleja inorgánica-orgánica de composición variable (Vassilev *et al.*, 2013). Las cenizas causan problemas de acumulación, corrosión y erosión en la parrilla y en los intercambiadores de calor de los equipos de combustión, reduciendo el rendimiento y la vida útil del equipo (Royo *et al.*, 2019), por lo que se prefieren materiales con bajo contenido de cenizas. Los



resultados de este estudio muestran que el contenido de cenizas disminuye el valor del poder calorífico, lo cual coincide con lo reportado en otros estudios (Demirbas, 2002; Ramos e Paula *et al.*, 2011; Rossi *et al.*, 2013; Martínez-Pérez *et al.*, 2015; Duruaku *et al.*, 2016; Ngangyo-Heya *et al.*, 2016; Jóvér *et al.*, 2018; Ruiz-Aquino *et al.*, 2019).

En la Figura 2 se muestra la dispersión de los datos de los contenidos de cenizas y extractos con el poder calorífico, observándose que algunos valores están muy dispersos, observándose que el contenido de cenizas varía de 0.16 a 19%, los contenidos de extractos en etanol-benceno están entre 0.79 y 32.1% y los de etanol de 0.10 a 16.7%. Los valores de poder calorífico se encuentran de 13 a 26 MJ/kg. La variación se atribuye al origen del material lignocelulósico, especie, parte y edad de la planta, así como las condiciones de crecimiento (Vassilev *et al.*, 2013).

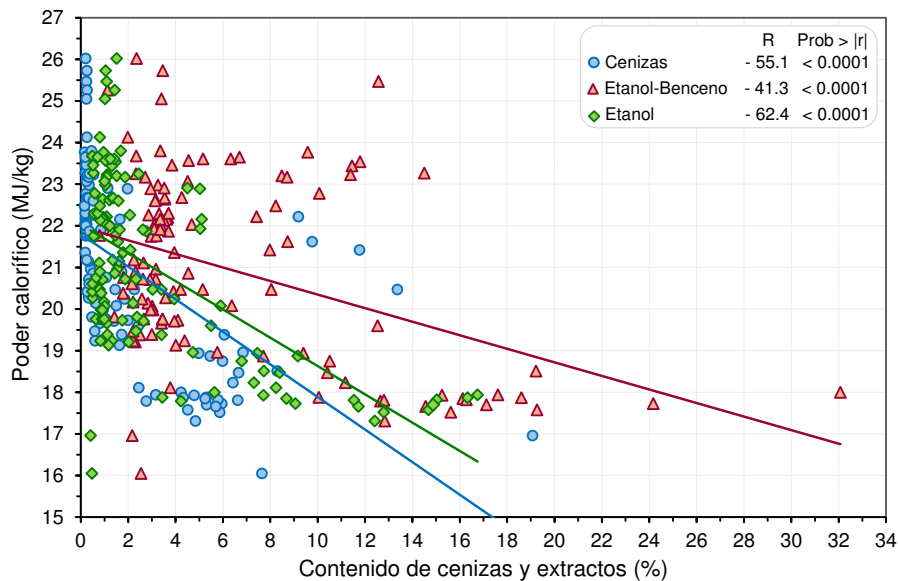


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo de los materiales lignocelulósicos.

CONCLUSIONES

Los contenidos de extractos y cenizas afectan directa y negativamente al poder calorífico de los materiales estudiados, así como su energía disponible durante la combustión.

En general, los materiales lignocelulósicos con altos contenidos de extractos y cenizas presentan valores más bajos de poder calorífico, lo cual los hace menos adecuados para su uso en la producción de energía.

LITERATURA CITADA

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2009. Standard test method for ash in wood. ASTM D1102, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.10 Wood pp. 174-175.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1996. Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. ASTM E711, Annual Book of ASTM Standards. Waste Management, pp. 265-271.
- Demirbas, A. 2002. Relationships between heating value and lignin, moisture, ash and extractive contents of biomass fuels. *Energy Exploration and Exploitation* 20 (1): 105-111.
- Duruaku, J. I., Ajiwe, V. I. E., Okoye, N. H., and Arinze, R.U. 2016. An Evaluation of the calorific values of the branches and stems of 11 tropical trees. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems* 6: 44-54.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). 2017. Accelerating the energy transition through innovation, working paper based on global REmap analysis, IRENA, Abu Dhabi. 126 p.



- International Organization for Standardization (ISO). 2017. Solid biofuels - Determination of calorific value (EN ISO 18125:2017). Vernier, Geneva, Switzerland. 56 p.
- Jóvér, J., Antal, K., Zsembeli, J., Blaskó, L. and Tamás, J. 2018. Assessment of gross calorific value of crop and bio-energy residues. *Res. Agr. Eng.* 64: 121–127.
- Lozano-García, D. F., Santaibañez-Aguilar, J. E., Lozano, F. J., and Flores-Tlacuahuac, A. 2020. GIS-based modeling of residual biomass availability for energy and production in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 120, 109610.
- Martínez-Pérez, R., Pedraza-Bucio, F. E., Orihuela-Equihua, R., López-Albarrán, P., and Rutiaga-Quiñones, J. G. 2015. Calorific value and inorganic material of ten Mexican wood species. *Wood Research* 60 (2): 281-292.
- Molina-Guerrero, C. E., Sanchez, A., and Vázquez-Núñez, E. 2020. Energy potential of agricultural residues generated in Mexico and their use for butanol and electricity production under a biorefinery configuration. *Environmental Science and Pollution Research* 27: 28607–28622.
- Ngangyo-Heya, M., Foroughbahch-Pournavab, R., Carrillo-Parra, A., Rutiaga-Quiñones, J. G., Zelinski, V., and Pintor-Ibarra, L. F. 2016. Calorific value and chemical composition of five semi-arid mexican tree species. *Forests* 2016, 7, 58.
- Parr. 1999. 1266 Isoperibol Bomb Calorimeter. Operating Instruction Manual. Technical Note No. 367M. Parr Instrument Company, Illinois, USA. 111 pp.
- Ramos e Paula, L. E., Trugilho, P. F., Napoli, A., and Bianchi, M. L. 2011. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne, Lavras*, 17(2): 237-246.
- Rios, M., and Kaltschmitt, M. 2013. Bioenergy potential in Mexico—status and perspectives on a high spatial distribution. *Biomass Conv. Bioref.* 3: 239–254.
- Rossi, T., Moura, L. F., Torquato, P. R., and Brito, J. O. 2013. Effect of extractive removal on the calorific value of Brazilian woods residues. *J. Chem. Chem. Eng.* 7: 340-343.
- Rowell, R. M., Pettersen, R., and Tshabalala, M. A. 2013. Cell Wall Chemistry. In: Rowell, R. M. (ed.) *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Second edition. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL, USA. pp. 33-72.
- Royo, J., Canalisa, P., Quintana, D., Díaz-Ramírez, M., Sin, A., and Rezeau, A. 2019. Experimental study on the ash behaviour in combustion of pelletized residual agricultural biomass. *Fuel* 239 (2019) 991–1000.
- Ruiz-Aquino, F., Ruiz-Ángel, S., Feria-Reyes, R., Santiago-García, W., Suárez-Mota, M. E., and Rutiaga-Quiñones, J. G. 2019. Wood Chemical Composition of Five Tree Species from Oaxaca, Mexico. *BioResources* 14(4): 9826-9839.
- SAS Institute Inc. (SAS). 2009. SAS for windows (Version 9.2 for Windows). Cary, NC. USA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 2007. Solvent extractives of wood and pulp. T 204 cm-97. TAPPI Test Methods. Fibrous Materials and Pulp Testing. CD Version, Atlanta, GA., U.S.A. 4 p.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., and Vassilev, C.G. 2013. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. *Fuel* 105: 40–76.
- Zamani, A. 2015. Introduction to lignocellulose-based products. In: Karimi, K. (Ed.). *Lignocellulose-Based Bioproducts*. Springer International Publishing, Switzerland. pp. 1-36.



EVALUACIÓN EN SUELO RIZOSFÉRICO CON EFECTO DEL PETRÓLEO A TRAVÉS DEL TIEMPO SOBRE EL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LA CIPERÁCEA *ELEOCHARIS PALUSTRIS* (L) ROEM. & SCHULT.

EVALUATION IN RHIZOSPHERIC SOIL WITH THE EFFECT OF OIL OVER TIME ON THE GROWTH AND PRODUCTION OF THE SEDGE *ELEOCHARIS PALUSTRIS* (L) ROEM. & SCHULT.

¹Chávez Álvarez K, ¹Rivera Cruz MC, ¹García de la Cruz R, ¹Aceves Navarro LA, ¹Orocio Carrillo JA y ²Vega López A

¹Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carretera Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tabasco 56500, México

² Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. El prol. Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Plutarco Elías Calles "Casco de Santo Tomás", D.F. CP 11340, México.
Autor para correspondencia: Karlazevach96@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de la esta investigación fue evaluar el efecto de la concentración de petróleo fresco a través del tiempo en el crecimiento de la ciperácea *Eleocharis palustris*, una planta que logra una cobertura hasta del 100% en humedales contaminadas y sin contaminar, aledaños a la infraestructura petrolera del estado de Tabasco. Se efectuó un experimento en microtúnel con 7 tratamientos (0, 3, 15, 30 y 75 g kg⁻¹ de petróleo fresco (PF)). Las variables de crecimiento evaluadas a través del tiempo (15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 64, 71, 78, 85, 95, 99, 106, 113, 120, 127, 134, 141, 148, 155, 162, 169, 176, 183, 190, 197, 204, 211, 218, 225, 232, 239, 246, 252, 260, 277 días) después de establecido el experimento fueron altura de la planta, tasa de crecimiento relativo (TCR) y el número de plantas nuevas. El efecto del petróleo fresco estimulo la altura de la planta en un 7.6 al 38.7% y la TCR del 7.74% respecto al suelo sin petróleo. Los resultados demuestran que conforme pasa el tiempo *E. palustris* produce un efecto positivo en la altura y en número de hijuelos en suelos con petróleo, mientras que la TCR disminuye.

Palabras clave: *Eleocharis palustris*, petróleo fresco, tasa de crecimiento relativa, número de plantas nuevas.

INTRODUCCIÓN

El petróleo se define como una mezcla compleja de hidrocarburos parafínicos, oleifínicos y aromáticos, así como compuestos que contienen nitrógeno, oxígeno y azufre y trazas de una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen metales (Balba *et al.*, 1998, Haritash y Kaushik, 2009, Bachmann *et al.*, 2014). Las industrias extractivas y de refinación del petróleo en México ha generado un impacto negativo en diversos ecosistemas y agroecosistemas tropicales del sureste del país (Rivera- Cruz, 2011; Trujillo-Narcía *et al.*, 2012). Las causas de este impacto son por derrames accidentales, fugas de depósitos subterráneos, tareas de exploración, refinación, falta de mantenimiento y robo de combustible (Trinidad *et al.*, 2005; Chandankere *et al.*, 2013; Cavazos-Arroyo *et al.*, 2014). Al respecto durante el periodo 2008 a 2015 sucedieron 1, 764 derrames de petróleo cuantificados y no cuantificado en México (PROFEPA, 2015).

Los hidrocarburos del petróleo se acumulan en ecosistemas marinos y agroecosistemas terrestres, y son tóxicos, cancerígenos y mutagenicos lo que causa efectos negativos en la diversidad de plantas (Basumatary *et al.*, 2012; Mair *et al.*, 2013; Baldan *et al.*, 2015), sin embargo existen algunas plantas que se adaptan a las condiciones de estrés causadas por petróleo (Sang-Hwan *et al.*, 2007), al respecto *Eleocharis palustris* (ciperácea) con nombre común tulillo (Gómez-Laurito *et al.*, 2003), es una planta que logra una cobertura hasta del 100% en humedales, contaminadas y sin contaminar, aledaños a la infraestructura petrolera del estado de Tabasco. Es una especie pionera que cubre muy bien el suelo arcilloso rápidamente a medida que disminuye el nivel del agua, y también bajo condiciones de inundación, es dominante en todas las etapas serosas. Tiene crecimiento rizomatoso



rápido en ambientes cálidos, ambos en el suelo con manto freático a 30 cm debajo de la superficie como, también en terrenos inundados (Trujillo-Narcía *et al.*, 2018). A pesar de ser una especie que se encuentra cerca de infraestructura petrolera, no hay información sobre su comportamiento en el crecimiento y producción a dosis bajas, medias y altas de petróleo fresco por lo cual en este estudio se desea evaluar a través del tiempo el efecto del petróleo en base a su crecimiento y producción de plantas nuevas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció un experimento con diseño completamente al azar 7x37 (siete dosis de petróleo y 37 tiempos (Las dosis 0, 3, 15, 30 y 75 g kg⁻¹ de petróleo fresco (PF) y los tiempos 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 64, 71, 78, 85, 95, 99, 106, 113, 120, 127, 134, 141, 148, 155, 162, 169, 176, 183, 190, 197, 204, 211, 218, 225, 232, 239, 246, 252, 260, 277 días). El estudio se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco, durante nueve meses en el área del microtúnel, así como en el Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental, ambos ubicados en el Periférico Carlos A. Molina s/n, km. 2, carretera a Huimanguillo, Tabasco.

Para el bioensayo, se recolectó (enero 2020) suelo caracterizado como Gleysol (GL) sin contaminación, localizado en la rancharía Paso y Playa H. Cárdenas, Tabasco. El suelo húmedo se secó bajo sombra y se tamizó en una malla de 5 mm de abertura. Por otro lado la colecta de *E. palustris* se realizó en una finca de suelo contaminado con petróleo de La Venta, Huimanguillo, Tabasco. Se seleccionaron los rizomas y se trasladaron al microtúnel, se estableció un almacigo en charolas y se seleccionaron las plántulas para la investigación.

Las cantidades de petróleo fresco se homogenizaron con una espátula en charolas de aluminio y se colocaron según sus dosis, se trasplantó una planta de *E. palustris* y se aplicó riego cada 24 horas para evitar estrés hídrico.

Crecimiento y producción.

Se evaluaron a los 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 64, 71, 78, 85, 95, 99, 106, 113, 120, 127, 134, 141, 148, 155, 162, 169, 176, 183, 190, 197, 204, 211, 218, 225, 232, 239, 246, 252, 260, 277 días: altura de la planta (AP), plantas nuevas (PN) y tasa de crecimiento relativa (TCR). La TCR se determinó mediante la fórmula de Hunt *et al.*, (2002):

$$TCR = (\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1)$$

Donde:

ln: logaritmo natural

w: longitud de estolón

t: tiempo

Análisis estadístico

Las variables de crecimiento de *E. palustris* se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANAVA) y se efectuó la prueba de medias por el método Tukey ($p \leq 0.05$) en el programa estadístico Infostat (v2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento

La presente investigación se da a conocer la importancia de la ciperácea *E. palustris* en la adaptación a petróleo fresco a través de nueve meses. En la Figura 1 se muestran los resultados de la altura de *E. palustris* expuesta en suelo sin petróleo y con petróleo fresco a 37 tiempos diferentes. Se observa que en los primeros ocho tiempos (días 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 64) en suelo con petróleo la altura mostró un crecimiento similar al suelo sin petróleo, sin embargo en los tiempos restantes la altura fue mayor en suelo con petróleo mostrándose una estimulación del 7.6 al 38.7%. Esto demuestra la capacidad de *E. palustris* para adaptarse en suelos contaminados con petróleo en el rango de 3, 15, 30, 45, 60 y 75 g kg⁻¹ de PF. Cabe resaltar que de los días 204 a 267 en suelo con y sin petróleo la planta se mantuvo estable sin mostrar diferencias estadísticas significativas. Este efecto positivo de la altura en suelos contaminados con petróleo también fue reportado por Orocio-Carrillo *et al* (2019) al evaluar la altura del pasto *Leersia hexandra*, reportando que a los 45 y 90 días de exposición a concentraciones de aceite de 7.9, 54 y 102 g kg⁻¹ de suelo, la altura aumentó 117, 120 y 138%, y 114, 124 y 117%, respectivamente.



Tadeo y Gómez-Cadenas (2008) mencionan que en cuanto se presenta un estrés en las plantas esta sucede en cuatro fases: fase de alarma (las plantas experimentan daños irreversibles y mueren), fase de resistencia (grado máximo de resistencia de las plantas), fase de agotamiento (muerte celular si el estrés no desaparece) y fase de regeneración (la planta alcanza un nuevo estado fisiológico óptimo para las condiciones presentes).

Por otro lado, en la TCR los resultados a los nueve meses solo se presentaron diferencias significativas al día 22 en suelo con petróleo (Figura 2). La máxima TCR fue de 1.67 cm día⁻¹ a los 22 días después de la siembra en suelo con petróleo, mostrando un aumento del 7.74% respecto al suelo sin petróleo, posteriormente esta disminuyó al aumentar en tiempo de exposición, alcanzando la mínima de 0.19 cm día⁻¹ a los 260 y 267 días en suelos sin petróleo. Orocio-Carrillo *et al* (2019) encontró que al exponer a *Leersia hexandra* en los días 45 y 90 a concentraciones de aceite de 7.9, 54 y 102 g kg⁻¹ de suelo, la TCR aumentó (119, 159 y 146%, y 102, 113 y 109%, respectivamente) en comparación con la control.

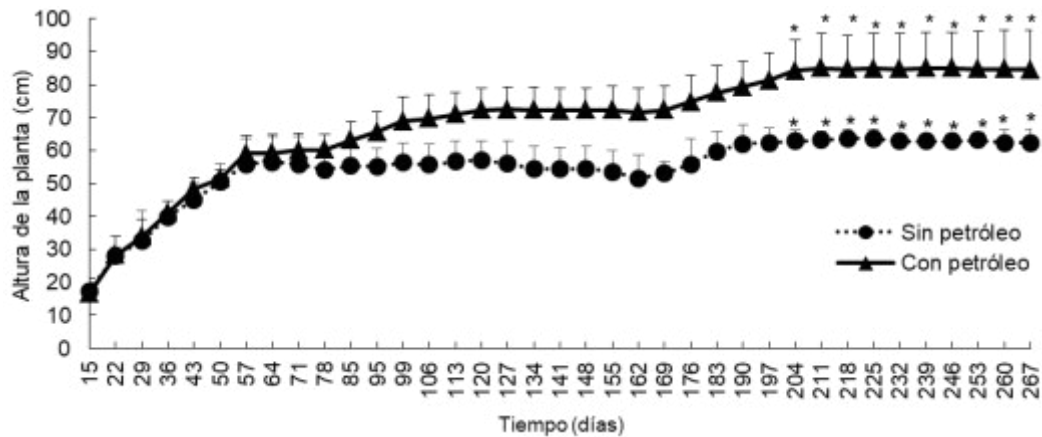


Figura 1. Altura de la ciperácea *E. palustris* a través del tiempo con y sin petróleo fresco. *Medias con la misma letra en suelo con y sin petróleo no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$).

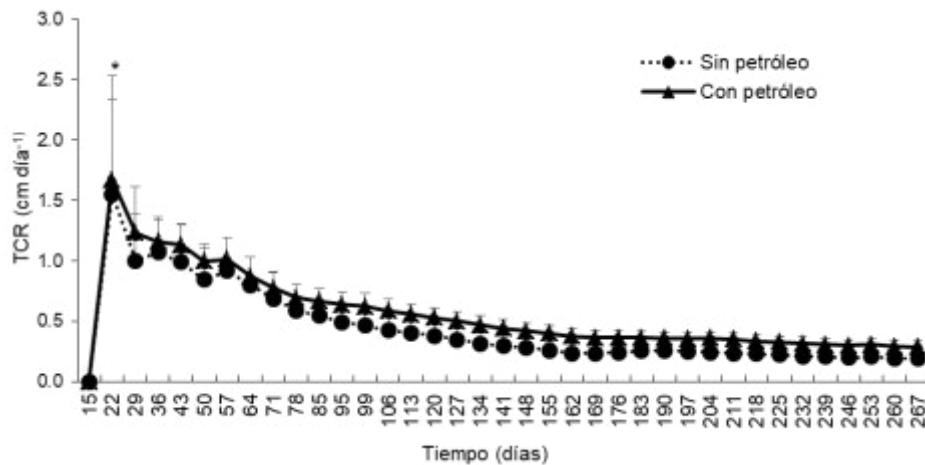


Figura 2. TCR en la ciperácea *E. palustris* a través del tiempo con y sin petróleo fresco. *medias con la misma letra en suelo con y sin petróleo no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$).



Producción

En la Figura 3 se muestra el efecto del suelo con y sin petróleo sobre el número de plantas nuevas de *E. palustris* a través del tiempo. Se observa una tendencia creciente conforme aumenta el tiempo de exposición de la planta en suelo sin y con petróleo. Se presenta que la mayor disminución (33.33, 38.82, 32.20, 31.22, 32 y 32.52%) se da en suelos con petróleo a los días 36, 43, 50, 57, 64 y 71 respectivamente, sin embargo esta reducción va descendiendo conforme al tiempo ya que se observa una disminución del 2.9, 3.0, 2.42, 1.26, 0.65 y 0.59% a los días 232, 239, 246, 253, 260 y 267 respectivamente. Efecto contrario fue reportado por González-MoscOSO *et al.* (2017), la cual reporta en los días 60, 120 y 180 una estimulación del 45.45, 100 y 85.71% respectivamente en suelos contaminado con petróleo a una concentración de 90 g kg⁻¹ con respecto al suelo sin petróleo.

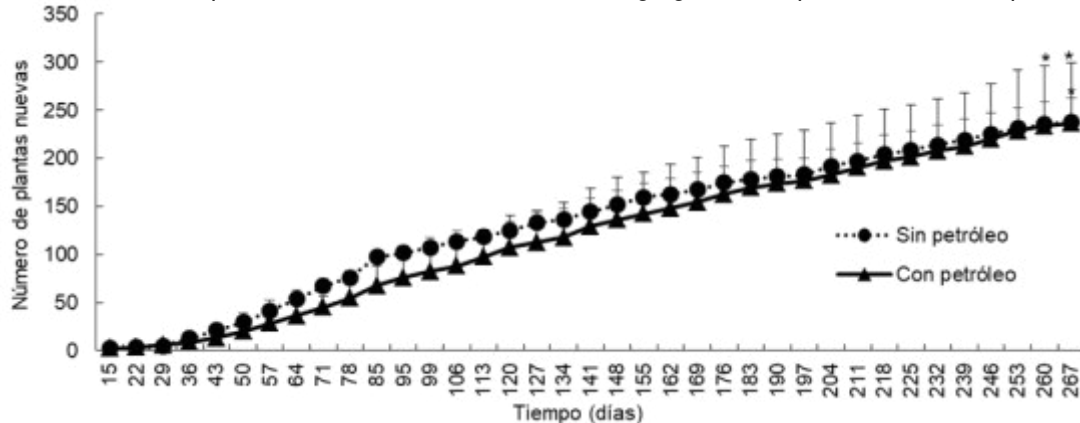


Figura 3. Número de plantas nuevas en la ciperácea *E. palustris* a través del tiempo con y sin petróleo fresco. *medias con la misma letra en suelo con y sin petróleo no tienen diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$).

CONCLUSIÓN

Las concentraciones de petróleo fresco estimularon a *E. palustris* en la altura y las plantas nuevas. Se demostró a través del tiempo (nueve meses) su potencial de adaptación al no mostrar diferencias estadísticas en el día 204 al 267 en la altura en suelos con petróleo fresco. Por otra parte la tasa de crecimiento relativo solo presentó diferencias significativas al día 22 en suelo con petróleo y una clara disminución conforme aumenta el tiempo de exposición.

LITERATURA CITADA

- Bachmann R.T., Johnson A.C., Edyvean R.G.J. 2014. Biotechnology in the petroleum industry: an overview *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 86: pp. 225-237
- Basumatary B., Bordoloi S., Sarma H.P. 2012. Crude Oil- Contaminated Soil Phytoremediation by Using *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk. *Water Air Soil Pollution.* 223(6): 3373-3383.
- Balba M.T., Al-Awadhi N., Al-Daher R. 1998. Bioremediation of oil-contaminated soil: microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation. *J. Microbiol. Methods*, 32: pp. 155-164
- Baldan E., Basaglia M., Fontana F., Shapleigh P.J., Casella S. 2015. Development, assessment and evaluation of a biopile for hydrocarbons soil remediation. *International Biodeterioration and Biodegradation.* 98: 66–72.
- Cavazos-Arroyo J., Pérez-Armendáriz B., Mauricio-Gutiérrez A. 2014. Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo.* 11: 539-550
- Chandankere R., Jun Y., Choi M.M.F., Masakorala K., Chan Y. 2013. An efficient biosurfactant-producing and crude-oil emulsifying bacterium *Bacillus methylotrophicus* USTBa isolated from petroleum reservoir. *Biochemical Engineering Journal.* 74: 46–53.



- Gómez-Laurito J. 2003. Cyperaceae, In Hammel B.H., Grayum M.H., Herrera C., Zamora N. (eds.). Manual de Plantas de Costa Rica. Missouri Bot. Garden, INBIO, Museo nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica. 458-551 p.
- González-MoscOSO M., M. C. Rivera-Cruz, J. Delgadillo-Martínez y L. C. Lagunes-Espinoza. 2017. Growth analysis and plant production of *Leersia hexandra* Swartz in tropic wet Mexican infestation on petroleum and surfactant. *Polibotanica*. 43: 177-196.
- Haritash A.K., Kaushik C.P. 2009. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *J. Hazard. Mater.*, 169: pp. 1-15
- Hunt, R., Causton, D., R., Shipley, B., y Askew, P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Ann. Botany*, 90: 485-488.
- Mair J., Schinner F., Margesin R., 2013. A feasibility study on the bioremediation of hydrocarbon-contaminated soil from an Alpine former military site: effects of temperature and biostimulation. *Cold Regions Science and Technology*. 96: 122-128.
- Magaña A.M.A. 1995. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas de Tabasco. DACB. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 205 pp.
- Orocio-Carrillo J.A., Rivera-Cruz M.C., Aranda-Ibañez E.M., Trujillo-Narcía A., Hernández-Galvez G., y Mendoza-López M.R. 2019. Hormesis under oil-induced stress in *Leersia hexandra* Sw. used as phytoremediator in clay soils of the Mexican humid tropic. *Ecotoxicology*. 28(9): 1063-1074.
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). 2015. Informe de Actividades. www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/8233/1/web_versionfinal.pdf. Fecha de consulta 22 de enero del 2019. México. 158 p.
- Rivera-Cruz M.C., 2011. "Bacterias y hongos en suelos contaminados con petróleo crudo en Tabasco". Gamboa, A.M.; Rojas H.R (Eds). Recursos genéticos microbianos en la zona Golfo- Sureste de México. Morevalladolid, S.A de C.V. Morelia, Michoacán, México. pp. 78-87.
- Sang-Hwan, L., Won-Seok, L., Chang-Ho, L., y Jeong-Gyu, K. 2007. Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. *J. Hazard Mater*, 141: 519-525.
- Tadeo F.R y Gómez-Cadena A. 2008. Fisiología de las plantas y el estrés. *In: Azcón-Bieto J y Talón M, (eds). Fundamentos de fisiología vegetal*. 2da edición. McGraw-Hill Interamericana (Ed.). Madrid, España. 651 p.
- Trindade P.V.O., Sobral L.G., Rizzo A.C.L., Leite S.G., Soriano A.U. 2005. Bioremediation of a weathered and a recently oil-contaminated soils from Brazil: a comparison study. *Chemosphere*. 58(4): 515-522.
- Trujillo-Narcía A., Rivera-Cruz M.C., Lagunes-Espinoza L.C., Palma-López D.J., Soto-Sánchez S., Ramírez-Valverde G. 2012. "Efecto de la restauración de un fluvisol contaminado con petróleo crudo". *Revista internacional de contaminación ambiental*. 28(4): 361-374.
- Trujillo-Narcía A., Rivera-Cruz M.C., Trujillo-Rivera E.A., Roldán G.A. 2018. Reintroducing plant coverage in a tropical wetland contaminated with oil and sulfate: Rhizosphere effects on *Desulfovibrio* populations. *Revista de biología tropical*. 66(2):1-11.



RENDIMIENTO TERMEOCONÓMICO EN LA SELECCIÓN DEL TIPO DE SECADOR SOLAR PARA PRODUCTOS AGRÍCOLAS

THERMOECONOMIC PERFORMANCE IN THE SELECTION OF TYPE OF SOLAR DRYER FOR AGRICULTURAL PRODUCTS

¹Quintanar Olguin J. y ¹Martínez Ruiz A.

¹CESMAR-CIRGOC-INIFAP. Km. 56.5 Carretera Federal México-Puebla, San Martinito, Tlahuapan, Puebla. CP.74100.

Autor de correspondencia: quintanar.juan@inifap.gob.mx

RESUMEN

El secado solar es una tecnología emergente para preservar una amplia gama de productos agrícolas. La aplicación de secadores solares, sin embargo, debe evaluarse para determinar su beneficio y efectividad. En la evaluación del rendimiento del secador solar, los tres criterios más importantes a tener en cuenta son el rendimiento térmico, el costo económico y las implicaciones medioambientales. En este trabajo, se realiza el análisis térmico de dos distintos diseños de secadores solares: tipo invernadero y tipo túnel. Los resultados muestran una eficiencia térmica de 32.2% para el secador tipo invernadero y de 20.8% para el secador tipo túnel, con datos para secar café lavado. Este parámetro permite realizar comparaciones entre los secadores para seleccionar el más apropiado para productos agrícolas.

Palabras clave: *Secador tipo invernadero, sin movimiento de aire.*

INTRODUCCION

En las áreas rurales del país, la comercialización de productos agrícolas se realiza principalmente en fresco, lo cual conlleva a que el producto que no se comercializa se pierda o se venda a precios muy bajos. El principal proceso de conservación es el secado con energía solar a cielo abierto, pero al no tener ningún control sanitario, es fácil que el producto se contamine, llegándose a desperdiciar cerca del 37% del volumen cosechado (FAO, 2015). Una alternativa a este problema ha sido el aprovechamiento de la energía solar mediante el uso de instalaciones denominadas tradicionalmente como secadores solares para aumentar la vida de almacenaje de los alimentos o de los productos de la agricultura en diversos países en vías de desarrollo (Sivakumar y Rajesh, 2016; Upadhyay and Singh, 2017).

En la actualidad, existe una gran variedad de diseños y tamaños de secadores solares que pueden utilizarse para el secado de diversos alimentos de origen agrícola. La eficacia de los mismos podría mejorarse y desarrollarse optimizando los parámetros de los secadores solares con técnicas adecuadas. Dado que los resultados revelan que el proceso de secado es bastante simple, de bajo costo y el producto se seca en un ambiente higiénico (Sharma *et al.*, 2018). Sin embargo, el diseño de estos secadores se ha fundamentado principalmente en datos empíricos y semiempíricos más que en diseños teóricos; son equipos generalmente de baja capacidad, que se utilizan principalmente para el secado de diversos alimentos de origen agrícola, ya sea para uso familiar o para la comercialización de algunos excedentes (Belessiotis y Delyannis, 2011).

La selección del tipo de secador implica una interacción entre un número relativamente grande de factores, tanto técnicos como económicos. El secador elegido debe ser principalmente capaz de realizar el trabajo requerido en términos de remoción de humedad, rendimiento y capacidad de manejo de alimento. En el caso de algún secador solar, se debe evaluar su capacidad, eficiencia térmica, costo de inversión, costo operativo de secado y el impacto sobre el medio ambiente (Kabir *et al.*, 2016), tomando en cuenta las variaciones en el diseño, los materiales de construcción, las condiciones de operación,



las preferencias del consumidor y las interpretaciones de calidad (Leon *et al.*, 2002). Así, para seleccionar un secador solar para un producto alimenticio en específico, es necesario evaluar su rendimiento técnico para así tener una base de comparación entre diferentes tipos o diseños de secadores.

En el secado solar, el rendimiento térmico es un indicador confiable para estudiar la factibilidad del sistema y su determinación es importante para lograr la máxima eliminación de humedad utilizando la mínima cantidad de energía (Desa *et al.*, 2020). Su rendimiento depende de varios parámetros ambientales, como la radiación solar, la temperatura ambiente (Jambhulkar *et al.*, 2017).

El objetivo del presente estudio, fue calcular la eficiencia térmica como parámetro a considerar en la comparación y selección de un secador solar para productos agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La aplicación de la metodología se aplicó con datos obtenidos para dos diseños de secadores localizados en las instalaciones del Campo Experimental San Martinito, en el municipio de Tlahuapan, Puebla. Un diseño de secador es de tipo invernadero activo mixto, con un colector de 14.6 m² formando parte de la cámara de secado, construido con láminas galvanizadas, pintadas de negro “mate” en la parte expuesta al sol, con una orientación hacia el sur y una inclinación igual a la latitud del lugar. El otro, es un diseño tipo túnel con 22.5 m² de cubierta externa, considerada como superficie colectora de energía solar. Ambos con una capacidad de 200 kg de café lavado.

Como la eficiencia térmica es la relación entre la energía utilizada para evaporar la humedad del producto y la entrada de energía al sistema de secado. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación (Bennamoun, 2012):

$$\eta_s = \frac{W_o * L_v}{(R_t * A_c)} \quad (1)$$

Dónde:

η_s = Eficiencia del secador solar.

W_o = Peso del agua evaporada del producto (kg)

L_v = Calor latente de vaporización del agua del producto a secar (kJ/kg)

R_t = Radiación horaria incidente sobre la superficie inclinada del colector (kJ/m²).

A_c = área del colector (m²)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la eficiencia térmica (η_s) de ambos secadores aplicando la ecuación 1, a las 13:00, determinada como la hora con mayor insolación con un valor de 1013 w/m² para un día soleado de finales del mes de mayo (Figura 1), según los valores en la base de datos de METEONORM 7 para el promedio de irradiación diaria para planos horizontales e inclinados de la ubicación de Tlahuapan, Puebla (Figura 2).

También se consideró un valor del calor latente de vaporización para café cuando tienen un 50% de humedad en base seca, que es de 2786.3 kJ/kg (Restrepo y Burbano, 2005). Así, la eficiencia del secador tipo invernadero es fue de 32.2% y el del secador tipo túnel fue de 20.8%. Valores congruentes con los reportados por Yelmen *et al.*, (2019) para secadores de convección natural, cuyos valores de entre 20-30% y de 10 a 15% para secadores solares activos. También, el secador solar tipo invernadero tiene una eficiencia semejante a los valores de eficiencia térmica de 30.64% reportado por Subramani *et al.* (2020). Sin embargo, la eficiencia térmica de ambos diseños es menor a los resultados de 39.2% reportados por Subramaniyan *et al.* (2021).

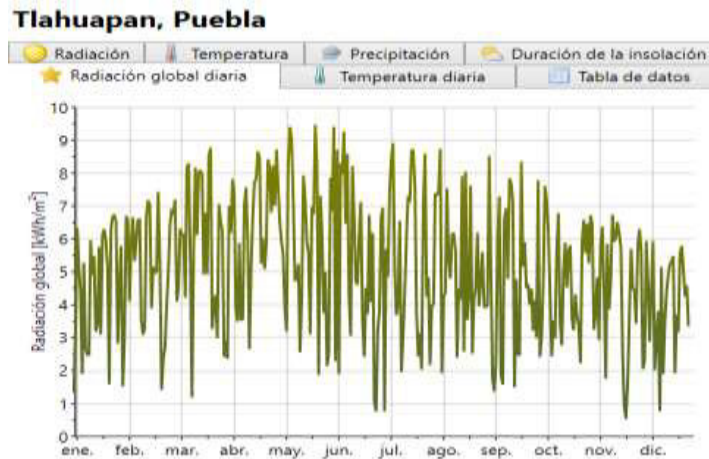


Figura 1. Radiación Global (kWh/m²) en San Martinito, Tlhuapan, Puebla.

Sin embargo, otros parámetros que deben ser evaluados para determinar un funcionamiento eficiente del secador solar son: velocidad uniforme del aire de secado, la temperatura y distribución de la humedad del producto en la cámara de secado (Getahun et al., 2021). Además, en la actualidad ya no es suficiente con determinar la eficiencia térmica, ahora también se recomienda analizar las entradas de energía y los consumos energéticos como parte del costo operacional y del ciclo de vida de un secador solar, para seleccionar el diseño y construcción de un secador solar, en un marco de cambio climático (Quintanar y Aguilar, 2018).

CONCLUSIONES

Ante la gran variedad de diseños y tamaños de secadores solares existentes, los resultados demuestran que es factible utilizar la eficiencia térmica como uno de los parámetros básicos para seleccionar el tipo o diseño de secador solar apropiado que apoye en la conservación de alimentos en las áreas rurales del país. Este criterio permite realizar comparaciones entre los secadores existentes, además de considerar su costo de inversión, costo operativo de secado y el impacto sobre el medio ambiente, mediante la evaluación y comparación de la energía incorporada en la construcción del propio secador.

LITERATURA CITADA

- Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2011). Solar drying. *Solar Energy*, 85(8), 1665–1691.
- Bennamoun, L. 2012. An overview on application of exergy and energy for determination of solar drying efficiency. *International Journal of Energy Engineering* 2(5):184-194.
- Desa W. N. Y. M., A. Fudholi and Z. Yaakob. 2020. Energy-economic-environmental analysis of solar drying system: a review. *International Journal of Power Electronics and Drive System* 11(2):1011-1018.
- FAO. (2015). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Boletín 2. 31 p. Disponible: <http://www.fao.org/3/I4655S.pdf>.
- Getahun E., M. A. Delele, N. Gabbiye, S. W. Fanta, P. Demissie and M. Vanierschot. 2021. Importance of integrated CFD and product quality modeling of solar dryers for fruits and vegetables: A review. *Solar Energy* 220:88–110
- Jambhulkar A. C., V. B. Pawar, S. B. Pawar, A. S. Dharwadkar, P. S. Pandure and S. P. Gadewar. 2017. Solar drying techniques and performance analysis: A review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 6:35-29.
- Kabir M. H., P. M D'Souza and M. J. Ahsan. 2016. Prospects of solar energy drying technologies: A critical review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 5(10):17866-17870.



-
- Leon, M. A., S. Kumar and S. C. Bhattacharya. 2002. A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6:367–393.
- Quintanar O., J. y P. Aguilar S. 2018. Determinación de energía incorporada para el análisis de secadores solares tipo invernadero. *CONAMTI* 5(5):63-67.
- Restrepo V., A. H. y J. C. Burbano J. 2005. Disponibilidad térmica solar y su aplicación en el secado de granos. *Scientia et Technica* XI(27):127-132.
- Sharma A., O. Chatta and A. Gupta. 2018. A review of solar energy use in drying. *International Journal of Engineering Technology Science and Research* 5(3):351-358.
- Singh C., P.; A. Kumar and B. Gupta. 2017. A review on thermal models for greenhouse dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75:548–558.
- Subramani S., S. Sivakumar D., V. Thirumalai N. and L. L. George M. 2020. Energy and exergy analysis of greenhouse drying of ivy gourd and turkey berry. *Thermal Science* 24(1B):645-656.
- Subramaniyan C., K. B. Prakash, B. Kalidasan, N. Bhuvanesh and A. Amarkarthik. 2021. Exergy analysis on performance of groundnut solar dryer with forced convection. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1059 (2021) 012056 doi:10.1088/1757-899X/1059/1/012056
- Upadhyay, N. and A. Singh. 2017. Experimental performance of solar greenhouse dryer for drying vegetables & fruits – a review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 4(8):153-156.
- Yelmen B., M. T. Çakir and H. H. Şahin. 2019. Performance evaluation of greenhouse type dryers for red pepper: technical and economic aspect. *Advances in Research* 20(2): 1-13.



EVALUACION DE LA DEGRADACION DEL BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA POR PRESION DEMOGRAFICA FRAGMENTACIÓN Y CAMBIO DE USO DE SUELO EN MEXICO

EVALUATION OF LAND DEGRADATION OF THE MOUNTAIN MESOPHYL FOREST BY DOMOGRAPHIC PRESURE, FAGMENTATION AND LAND USE CHANGE IN MEXICO

¹Moreno Sánchez F, ¹Pérez Miranda R, ¹Velasco Bautista E ¹Romero Sánchez E. ¹ González Hernández A

¹Centro Nacional de Estudios Disciplinarios en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del INIFAP. Avenida Progreso No5 Barrio de Santa Catarina Ciudad de México 04010.
Autor para correspondencia: moreno.francisco@inifap.gob.mx

RESUMEN

Los bosques mesofilos de montaña son los ecosistemas con mayor diversidad de los bosques y son importantes reservorios de biodiversidad sin embargo no se ha priorizado su conservación, el presente estudio evalúa los efectos antropogénicos a través de análisis de los cambios de uso de suelo y el efecto de la fragmentación. Para ello se usa el método de Análisis de Patrón Espacial Morfológico (MSPA) para evaluar esta. Para medir las influencias antropogénicas, se desarrolló de un indicador de presión antropogénica en las áreas forestales por conectividad por tipo de camino, pendiente y distancia. A lapso de tiempo de una hora hasta de 10 de distancia a los núcleos de población principales, esto se calculó en función de la serie 6 de INEGI sobre dicha conservación. Con lo que se puede concluir que las clases de alta fragmentación tienen más probabilidades de pasar a tierras no forestales, estas conversiones fueron mayores durante 2002–2008. Los mapas de fragmentación forestal, distancias efectivas a las influencias antropogénicas y los niveles de presión que generan sobre los bosques puede ser referenciada espacialmente con otros factores y procesos naturales y socioeconómicos para mejorar la comprensión de sus interacciones y comportamientos en el espacio y tiempo. La información generada en este estudio puede ayudar a mejorar el diseño y priorización de monitoreo, gestión, estrategias de conservación, restauración e incentivos económicos para los BMM en México.

Palabras clave; *Bosque mesofilo de montaña; fragmentación; degradación*

INTRODUCCION

En México, los Bosque Mesofilo de Montaña (BMM) se encuentran en zonas montañosas húmedas de las sierras madre de Chiapas, occidental, oriental, del sur y en la Faja Volcánica transmexicana. los BMM están presentes en menos del 1% del territorio nacional y se consideran el bastión más septentrional de este tipo de ecosistema en todo el mundo. la deforestación, la conversión del suelo a agricultura y la urbanización se encuentran entre las principales causas de pérdida de BMM en el país.

Pese a ocupar un porcentaje mínimo del territorio nacional, los BMM del país presentan altos valores de riqueza de especies y son esenciales para los procesos evolutivos y ecosistémicos de muchos grupos biológicos. derivados de tales procesos, los servicios ambientales que otorgan los mismos son fuente de sustento y riqueza para el ser humano.

En México, este ecosistema ha sido relegado en las decisiones de conservación. es recientemente que el BMM ha sido incorporado a estrategias nacionales de conservación, principalmente mediante la evaluación de la calidad de los bosques y de las amenazas que enfrentan. tal evaluación resultó en la agrupación de los BMM del país en 15 regiones.

OBJETIVO

Hacer una evaluación de la conservación del bosque mesofilo de montaña con base en las series de uso de suelo y vegetación de INEGI, aplicando un estimador de fragmentación y presión demográfica como evaluador de su conservación.



MATERIALES Y METODOS

Se generó una actualización de la evaluación a nivel nacional de la fragmentación de los BMM en México para 2002, 2008 y 2014 (usando las series de uso de suelo y vegetación de INEGI) La proximidad efectiva a las influencias antropogénicas calculadas para la Serie III (reclasificada en proximidad efectiva de una hora clase) se pueden explorar a través del sitio web de mapeo desarrollado para este estudio (<http://fast.ucdenver.edu/Mexico>) (Moreno et al. 2012.) Luego, utilizando estos resultados, se exploró cómo las transiciones a las clases de no fragmentado y otras clases de fragmentación, la evolución que tienen dentro de las clases de fragmentación, de fechas anteriores para los períodos 2002–2008 y 2008–2014. Se utilizó el método de Análisis de Patrón Espacial Morfológico (MSPA) para evaluar esta. Para medir las influencias antropogénicas, se desarrolló de un indicador de presión antropogénica en las áreas forestales por conectividad por tipo de camino, pendiente y distancia. A lapso de tiempo de una hora hasta de 10 de distancia a los núcleos de población principales, esto se calculó en función de la serie 6 de INEGI.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estudios han demostrado que el bosque de niebla y su biodiversidad son particularmente sensibles a los cambios causados por la fragmentación (Williams Linera, 1992; Kattan et al., 1994, Restrepo y Gómez, 1998). Además de la destrucción del hábitat que disminuye las poblaciones de flora y fauna, al ser fragmentado el ecosistema, aumenta el riesgo de extinción local de las especies típicas de plantas y animales de este bosque, ya que son expuestas a una disminución de humedad y a los efectos de borde (más luz, viento y temperatura). Los efectos negativos de la fragmentación se presentan espacialmente a diferentes escalas y principalmente son: una alteración del microclima dentro y afuera del remanente de bosque y el aislamiento de cada fragmento de los otros parches remanentes (Saunders et al., 1991).

Los resultados muestran que las clases de alta fragmentación tienen más probabilidades de pasar a tierras no forestales estas conversiones fueron mayores durante 2002–2008 que durante el período 2008–2014 para ambos tipos de bosque. Al analizar las transiciones entre clases de fragmentación, un porcentaje más alto del área forestal permaneció en la misma clase de fragmentación entre 2008 y 2013 que entre 2002 y 2008.

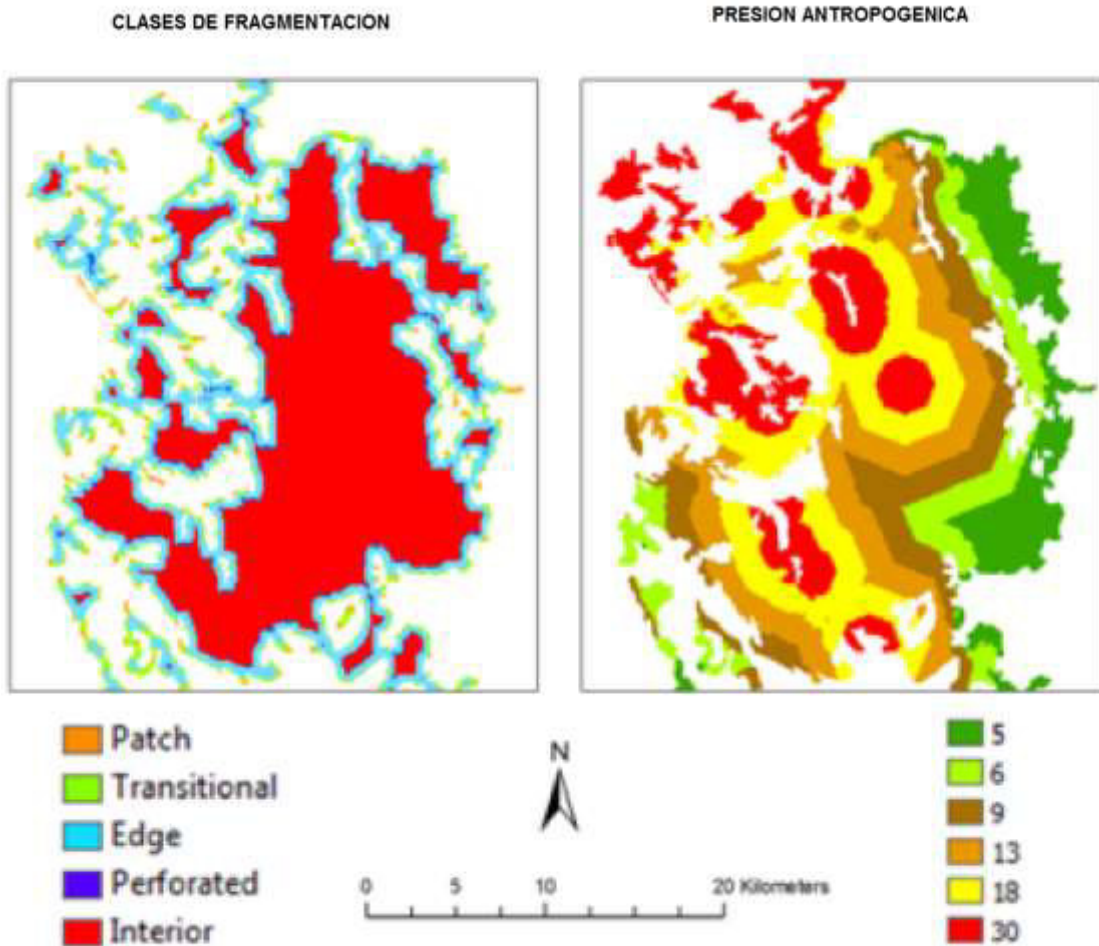


Figura no 1 Ejemplo de clases de fragmentación en bosque de coníferas y nivel de presión antropogénica en la misma área

Los análisis muestran que se está perdiendo a una tasa promedio de 1% por cada 5 años la cobertura del BMM siendo sustituido principalmente por plantaciones (como la de aguacate) cultivos agrícolas y pastizales en ese orden

La fragmentación de los mismos es alta por una gran presión demográfica y las áreas mejor conservadas son aquellas que se encuentran a más de 10 horas de distancia de los centros urbanos.

En general el riesgo de degradación de estos bosques es alto puesto que se encuentran en áreas de alta pendiente y cualquier cambio en el uso de suelo genera una pérdida de suelo por erosión

Las transiciones entre clases de fragmentación forestal fueron relativamente pequeñas en comparación con las transiciones a cubiertas de tierras no forestales. La información generada en este estudio puede ayudar a mejorar el diseño y priorización de monitoreo, gestión, estrategias de conservación, restauración e incentivos económicos para los BMM en México. Los mapas de fragmentación forestal,



distancias efectivas a las influencias antropogénicas y los niveles de presión que generan sobre los bosques puede ser referenciada espacialmente con otros factores y procesos naturales y socioeconómicos para mejorar la comprensión de sus interacciones y comportamientos en el espacio y tiempo.

CONCLUSIONES

Los bosques mesofilos de montaña se encuentran en un alto riesgo de degradación por una fragmentación de su hábitat y la presión demográfica.

Los remanentes de las masas forestales de los bosques mesofilos están mayormente en área de altas pendientes con lo que se favorece el impacto de la degradación física por erosión hídrica.

Aunque de los periodos analizados el periodo de mayor presión y cambio de uso de suelo fue para el comprendido 2002–2008 en comparación del periodo 2008–2014, no sea detenido ese cambio por lo que es importante que se genere una política explícita para la conservación de los bosques mesofilos de montaña.

LITERATURA CITADA

- García GS, Saura S. (2005). Forest fragmentation estimated from remotely sensed data: is comparison across scales possible? *Forest Science*, 51: 51–63.
- Herzog F, Lausch A, Muller E, Thulke HH, Steinhardt U, Lehmann S. (2001). Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation. *Environmental Management*, 27: 91–107.
- Lindenmayer DB, Cunningham RB, Donnelly CF, Lesslie R. (2002). On the use of landscape surrogates as ecological indicators in fragmented forests. *Forest Ecology and Management*, 159: 203–216.
- Moreno SR, Moreno SF, Torres RJM. (2011). National assessment of the evolution of forest fragmentation in Mexico. *Journal of Forestry Research*, 22(2): 167–174.
- Moreno SR, Torres RJM, Moreno SF, Hawkins S, Little J, McPartland S. (2012). National assessment of the fragmentation, accessibility and anthropogenic pressure on the forests in Mexico *Journal of Forestry Research* (2012) 23(4): 529–541



MODIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO POR EL PETRÓLEO Y CLORURO DE SODIO

MODIFICATION OF THE CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL BY PETROLEUM AND SODIUM CHLORIDE

¹Séneca Falcón O, ²Rivera-Cruz MC, ³Trujillo-Narcía A, ⁴Rodríguez Uribe ML y ³Ramírez May AG

¹Programa Educativo de Ingeniería en Geología. Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ra. Paso y Playa, CP 86500, Cárdenas, Tabasco, México.

²Laboratorio de Microbiología Ambiental y Agrícola. Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, Km 3.5. CP 86500, Cárdenas, Tabasco. México.

³Programa Educativo de QFB. Universidad Popular de la Chontalpa. Carret. Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ra. Paso y Playa, CP 86500, Cárdenas, Tabasco, México.

⁴Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Irapuato. México. Km 9.6 del Libramiento Norte Carretera Irapuato-León. Apartado Postal 629, C.P. 36824 Irapuato, Guanajuato, México

*Autor para correspondencia: omarsenecafalcon@gmail.com

RESUMEN

Se evaluaron las modificaciones químicas del suelo originadas por las interacciones de cuatro factores: dosis de petróleo Istmo (0, 1040, 23723 y 51073 mg/kg base seca), NaCl (0 y 0.85%), consorcio bacteriano constituido por dos aislados (*Pseudomonas* sp y *Rhodococcus* sp) y el pasto hidrofíto *Leersia hexandra*. El experimento se llevó a cabo en micro-túnel durante 180 días, se evaluaron 24 tratamientos con tres repeticiones cada uno, la unidad experimental fue un contenedor de vidrio con 2 kg de suelo arcilloso colectado de la capa superficial de un Gleysol. El suelo fue molido con mazo de madera y tamizado en malla de 5 mm de abertura. Las variables evaluadas fueron el potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico del suelo (COS), materia orgánica del suelo (MOS) y nitrógeno total (Nt). Todas las variables registraron medias con diferencias estadísticas (Duncan $p \leq 0.05$). La dosis 23724 mg/kg de petróleo combinado con los otros tres factores promovió el pH a 7.0 respecto al testigo (6.1). La mayor CE varió de 2.5 a 2.7 dS/m, fue mayor hasta siete veces que el testigo, y fue inducida por el consorcio bacteriano en ausencia de *L. hexandra*. La MOS registró valores máximos de 10.1% por efecto de 51073 mg/kg de petróleo combinado con 0.85 de NaCl, la MOS fue 90.5% mayor que en el suelo testigo (5.3%). El contenido máximo de Nt fue 0.04% en suelo contaminado con 51073 mg/kg combinado con 0.85 de NaCl, en presencia del pasto e inoculado con *Pseudomonas* sp y *Rhodococcus* sp, esta cantidad de Nt es el doble que en el suelo testigo absoluto (0.02%). Se requieren nuevos estudios para responder y confirmar interrogantes que permanecen vigentes.

Palabras clave: petróleo, cloruro de sodio, modificaciones, suelo

INTRODUCCIÓN

La contaminación es la acumulación de energía o materia en un ambiente, la cual no puede ser asimilada, transformada o eliminada (Albert, 2012). El sector de hidrocarburos se ha expandido de manera importante en los últimos años, convirtiéndose en pieza clave del crecimiento de la economía mundial, el consumo de energía aportó 33.3% del consumo total durante 2016 (BP, 2018). En México la industria del petróleo en su conjunto ha tenido un impacto negativo en materia ambiental (Savala, 1995). Sólo en el 2016 ocurrieron 213 siniestros lo cual causó pérdidas del orden de 44.1 miles de toneladas, sin tomar en cuenta los siniestros por tomas clandestinas (PEMEX, 2016). En el estado de Tabasco se han reportado suelos que rebasan los límites máximos permisibles de hidrocarburos fracción ligera, mediana y pesada, establecidos en la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 (DOF, 2013), que ocasionan cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo. De acuerdo con la información de PEMEX, dos de los lugares más contaminados por hidrocarburos a nivel nacional son la refinería Lázaro Cárdenas y el Pantano de Santa Alejandrina, ambos ubicados en el sureste de México (PEMEX, 2000). Debido al crecimiento de la explotación de los hidrocarburos, la contaminación ha sido también



significativa. Los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos fisicoquímicos simultáneos como evaporación y penetración, que, dependiendo de las características del hidrocarburo y del suelo pueden inducir en procesos lentos que ocasionan mayor toxicidad (Benavides *et al.*, 2006), lo anterior induce graves consecuencias ambientales tanto en la flora como en la fauna. Otro efecto frecuente son las modificaciones de las características del suelo, algunas son el aumento del pH y la conductividad eléctrica de hasta tres veces en relación con suelos testigo y disminución del nitrógeno total de hasta cuatro veces (Trujillo-Narcía *et al.*, 2012). Los suelos receptores de NaCl registran alteración en las características químicas, una modificación es el incremento del pH de 6.0 a 9.0 unidades (Ortega, 1987), otra modificación es en la CE la cual tiene una relación con la temperatura de 2% por grado, registra datos iguales o mayores a 4 dS/m (Porta *et al.*, 2013). Las características químicas permiten reconocer ciertas cualidades del suelo cuando se provocan cambios o reacciones que alteran la composición y su resiliencia. El presente estudio aporta información que esclarece los efectos del petróleo y del NaCl y los efectos potenciales positivos de la fitorremediación y de la biorremediación con una especie vegetal nativa y dos bacterias también nativas de suelos con derrames crónicos en Tabasco. El objetivo es identificar modificaciones químicas en suelos con presencia de petróleo y solución salina, con y sin planta (*Leersia hexandra*) así como evaluar y explicar las modificaciones del potencial hidrógeno, conductividad eléctrica, materia orgánica del suelo, carbono orgánico del suelo y nitrógeno total en los suelos inducida por el petróleo y el NaCl.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental. El experimento se realizó en micro-túnel durante 180 días en las instalaciones del Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco, así como en el Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental del mismo de la misma institución. El trabajo se dividió en tres etapas secuenciales: I. Trabajo en micro-túnel, II. Trabajo en laboratorio, III. Análisis estadístico de los datos colectados.

Diseño experimental. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3x2x2x2, en total fueron 24 tratamientos por triplicado (Cuadro 1). El factor 1 fue la dosis de petróleo Istmo (1048, 23724 y 51073 mg/kg petróleo Istmo, base seca), el factor 2 el NaCl (0 y 0.85%, base seca), el factor 3 fue la planta de pasto *L. hexandra* (unidad experimental con pasto o sin pasto), por último, el factor 4 fue el consorcio de *Pseudomonas* sp + *Rhodococcus* sp (con consorcio o sin consorcio). El suelo usado es la capa superficial de un Gleysol sin contaminación, colectado dentro de la Universidad Popular de la Chontalpa ubicada en el ejido Paso y Playa, municipio de Cárdenas, Tabasco, México (UTM: 0461719 y 1985998 15 Q). El petróleo es del tipo Istmo con 36.31° de densidad, fue extraído del campo petrolero Cinco Presidentes, localizado en la parte noroccidental de Tabasco. La salinidad del suelo se preparó con cloruro de sodio ACS (Fermont) al 99.9% de pureza. El consorcio de bacterias fueron los aislados *Pseudomonas* sp y *Rhodococcus* sp fue proporcionado personalmente por la estudiante de doctorado Mónica Liliana Rodríguez Uribe quien publicó recientemente esa información (Rodríguez-Uribe *et al.*, 2021). Se utilizó una carga de bacterias de 10⁷ UFC por mL. El pasto utilizado fue *L. hexandra*, es una especie perenne que crece en humedales contaminados con petróleo crudo intemperizado en campos petroleros localizados en el oeste de Tabasco.

Etapas I. Trabajo en micro-túnel. El suelo de cada unidad experimental se mezcló con la cantidad de petróleo para cada tratamiento: 1040, 23723 y 51073 mg/kg de suelo. El tratamiento de fitorremediación se trasplantó una plántula de *L. hexandra*, y en las de biorremediación se inoculó el consorcio *Pseudomonas* sp + *Rhodococcus* sp, se resuspendió en 300 mL de agua estéril. El NaCl se adicionó 0.81% respecto a la cantidad de suelo. La temperatura promedio bajo el micro-túnel fue 32 ± 4.7 °C.

Etapas II. Trabajo de laboratorio. El día 180 después de establecido el experimento se colectó suelo, en seguida se secó bajo sombra, se molió y tamizó en malla de 2 mm de abertura. Este suelo se utilizó para la cuantificación de las variables químicas. **Potencial hidrógeno y conductividad eléctrica del suelo.** Se utilizó 10 g de suelo y se mezcló en 20 mL de agua neutra, se aplicaron las rutinas especificadas en la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF 2002). El valor del pH y de la CE se determinó con potenciómetro/conductímetro Hanna Instruments, Modelo Hi9811-5. **Materia orgánica del suelo/ carbono orgánico del suelo.** Se utilizó 10 g de suelo previamente secado a 100 °C durante 24 h. Este material se introdujo en crisol y se calcinó en mufla a 350 °C durante 24 h, se pesó en balanza analítica. Los cálculos de la MOS fueron mediante gravimetría (Etchevers, 1992). El carbono COS se calculó con



la siguiente ecuación: $(MOS/1.724)100$ (Etchevers, 1992). **Nitrógeno total del suelo.** Se utilizó suelo molido y secado a 100 °C y tamizado en malla de 0.5 mm de abertura. Se utilizó 1 g de suelo y se introdujo en el tubo Micro-Kjeldahl, se adicionó 1 g de mezcla catalizadora y 5 mL de H₂SO₄, en seguida inició la digestión a 350 °C durante 4-5 h. La siguiente actividad es la dilución en matraces aforados de 50 mL con agua destilada, de estos 10 mL son vaciados en el destilador junto a 10 mL de NaOH, son destilados en matraz con 10 mL de H₃BO₃ hasta obtener 250 mL con una coloración azul o verde (Etchevers, 1992).

Cuadro 1. Factores y combinaciones de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Petróleo (mg/kg)	NaCl	Pasto	Consortio bacteriano
1	1048	No	No	No
2	1048	No	No	Si
3	1048	Si	Si	Si
4	1048	Si	Si	No
5	1048	No	Si	No
6	1048	No	Si	Si
7	1048	Si	No	Si
8	1048	Si	No	No
9	23724	No	No	No
10	23724	No	No	Si
11	23724	Si	Si	Si
12	23724	Si	Si	No
13	23724	No	Si	No
14	23724	No	Si	Si
15	23724	Si	No	Si
16	23724	Si	No	No
17	51073	No	No	No
18	51073	No	No	Si
19	51073	Si	Si	Si
20	51073	Si	Si	No
21	51073	No	Si	No
22	51073	No	Si	Si
23	51073	Si	No	Si
24	51073	Si	No	No

Etapa III. Trabajo estadístico. Los datos del pH, CE, MOS, COS y de Nt fueron procesados en el programa Excel para Windows 2010. Se realizaron pruebas de medias de tratamientos con el programa SPSS (Duncan, $p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información reportada en los Cuadros 2 y 3 evidencia que los valores de las variables pH, CE, MOS, COS y Nt fueron modificadas por las diferentes dosis de petróleo, por la presencia de NaCl, por el efecto de la planta del pasto *L. hexandra* y también por la influencia de la actividad bioquímica del consorcio bacteriano. El tratamiento testigo absoluto, es decir, el suelo natural registró el pH más bajo, más ácido, fue 6.1 determinado en agua, en cambio, el valor más alto fue 7.0 en el tratamiento 12 (Cuadro 2), constituido por 23724 mg de petróleo combinado con 0.85% de NaCl y con presencia del pasto *L. hexandra*. En general el NaCl incrementó el valor del pH. La Figura 1 muestra la respuesta heterogénea



del pH en los 24 tratamientos, destaca el tratamiento 12 (23724 mg/kg petróleo + NaCl + planta de *L. hexandra*), el pH fue 6.98, fue el más alto. En cuanto a la CE (Cuadro 1 y Figura 2) fluctuó de 0.2 ± 0.02 dS/m en suelo con planta del pasto y con las tres dosis de petróleo y aumentó hasta 2.5 a 2.7 dS/m en suelo con la menor dosis de petróleo (1048 mg) mezclado con 0.85 % de NaCl; por lo tanto, los niveles más altos de la CE están relacionados con el NaCl. Estas modificaciones en el pH son el incremento de 6.0 a 9.0 unidades (Ortega, 1987).

Cuadro 2. Efecto de la combinación del petróleo, sal, consorcio y *Leersia hexandra* en el potencial hidrógeno, conductividad eléctrica y en la materia orgánica del suelo el día 180 después de la siembra.

Trat.	Petróleo (mg/kg)	NaCl	<i>Leersia hexandra</i>	Consorcio bacteriano	pH	CE (dS/m)	MOS (%)
1	1048	No	No	No	6.1±0.17i [¶]	0.4±.14hij	5.3±0.2i
2	1048	No	No	Si	6.2±.15ghi	0.8±.04 fgh	5.5±0.2jk
3	1048	Si	Si	Si	6.9±.06abcd	1.6±.10bc	6.7±0.6hijk
4	1048	Si	Si	No	7.0±.13ab	1.4±.17bcd	7.3±0.1fgh
5	1048	No	Si	No	6.6±.12bcdef	0.2±.02j	5.8±1.0ijk
6	1048	No	Si	Si	6.5±.22efgh	0.5±.12ghij	7.4±0.4efgh
7	1048	Si	No	Si	6.4±.25efghi	2.7±.23a*	8.8±1.4abcdef
8	1048	Si	No	No	6.4±.06efghi	2.5±.64a*	7.0±0.6ghi
9	23724	No	No	No	6.5±.12defg	0.3±.06ij	7.8±0.9efgh
10	23724	No	No	Si	6.2±.15hi	0.6±.03ghij	6.8±0.3hij
11	23724	Si	Si	Si	6.7±.06abcdef	1.3±.26bcde	8.6±0.5bcdef
12	23724	Si	Si	No	7.0±.15a*	0.9±.53efg	8.5±0.3bcdefg
13	23724	No	Si	No	6.2±.25ghi	0.2±.01ij	7.0±0.4ghi
14	23724	No	Si	Si	6.2±.46hi	0.4±.03hij	8.2±0.9cdefgh
15	23724	Si	No	Si	6.6±.06bcdef	1.6±.02b	9.8±0.0ab
16	23724	Si	No	No	6.6±.10cdef	1.4±.13bcd	9.4±0.3abcd
17	51073	No	No	No	6.3±.31fghi	0.3±.05ij	8.0±0.5defgh
18	51073	No	No	Si	6.6±.21bcdef	0.6±.05ghij	8.0±0.0defgh
19	51073	Si	Si	Si	6.9±.06abcd	0.6±.21ghi	9.5±1.0abc
20	51073	Si	Si	No	6.8±.06abcde	1.0±.34def	8.2±2.7cdefgh
21	51073	No	Si	No	6.9±.10abc	0.2±.02ij	7.6±0.3efgh
22	51073	No	Si	Si	6.6±.17bcdef	0.5±.10hij	8.8±0.1abcde
23	51073	Si	No	Si	6.5±.12defg	1.2±.23cdef	9.8±1.0ab
24	51073	Si	No	No	6.6±.00cdef	1.5±.09bc	10.1±1.0a*

[¶]Letras minúsculas diferentes dentro de cada columna representan valores promedios con diferencias estadísticas (Duncan, $p \leq 0.05$, $a > b$, $n=3$). *Media de tratamiento con mayor diferencia estadística significativa.

Cuadro 3. Efecto de la combinación del petróleo, cloruro de sodio, consorcio bacteriano y *Leersia hexandra* en el carbono orgánico del suelo y nitrógeno total el día 180 después de la siembra.

Trat.	Petróleo (mg/kg)	NaCl	<i>Leersia hexandra</i>	Consorcio bacterias	COS (%)	Ntotal (%)	COS/Nt
1	1048	No	No	No	3.1±.13k [¶]	.02±.001d	168.1±6.6cdef
2	1048	No	No	Si	3.2±.13jk	.02±.002d	176.2±18.9cde
3	1048	Si	Si	Si	3.9±.37hijk	.03±.000c	116.6±10.3hi
4	1048	Si	Si	No	4.2±.04fgh	.03±.004c	129.3±15.0fghi
5	1048	No	Si	No	3.3±.57ijk	.02±.003d	195.2±64.9cd
6	1048	No	Si	Si	4.3±.23efgh	.04±.002ab	113.9±11.4i
7	1048	Si	No	Si	5.1±.79abcd	c	132.5±32.6fghi
8	1048	Si	No	No	ef	.04±.007ab	124.5±16.8ghi
9	23724	No	No	No	4.1±.33ghi	c	202.0±36.6bc



10	23724	No	No	Si	4.5±.51efgh	.03±.005c	206.4±28.6bc
11	23724	Si	Si	Si	4.0±.18hij	.02±.001d	143.1±15.9efghi
12	23724	Si	Si	No	5.0±.26bcdef	.02±.002d	143.2±15.2efghi
13	23724	No	Si	No	4.9±.19bcdef	.03±.003bc	206.7±34.2bc
14	23724	No	Si	Si	g	.03±.003bc	118.0±12.5hi
15	23724	Si	No	Si	4.1±.23ghi	.02±.002d	150.0±6.6efghi
16	23724	Si	No	No	4.7±.54cdefg	.04±.004ab	146.5±12.2efghi
17	51073	No	No	No	h	.04±.002ab	248.7±25.0a*
18	51073	No	No	Si	5.7±.01ab	c	261.1±6.0a*
19	51073	Si	Si	Si	5.5±.17abcd	.04±.002ab	129.9±11.9fghi
20	51073	Si	Si	No	4.6±.28defgh	c	132.5±32.9fghi
21	51073	No	Si	No	4.6±.02defgh	.02±.002d	238.1±7.2ab
22	51073	No	Si	Si	5.5±.57abc	.02±.000d	134.2±9.5fghi
23	51073	Si	No	Si	4.7±1.6cdefg	.04±.007a*	157.0±15.8defg
24	51073	Si	No	No	h	.04±.004bc	h
					4.4±.19efgh	.02±.001d	161.5±5.4defg
					5.1±.04abcd	.04±.003ab	
					e	c	
					5.7±.58ab	.04±.008ab	
					5.8±.71a*	c	
						.04±.004bc	

¶ Letras minúsculas diferentes dentro de cada columna representan valores promedios con diferencias estadísticas (Duncan, $p \leq 0.05$, $a > b$, $n = 3$). *Media de tratamiento con mayor diferencia estadística significativa.

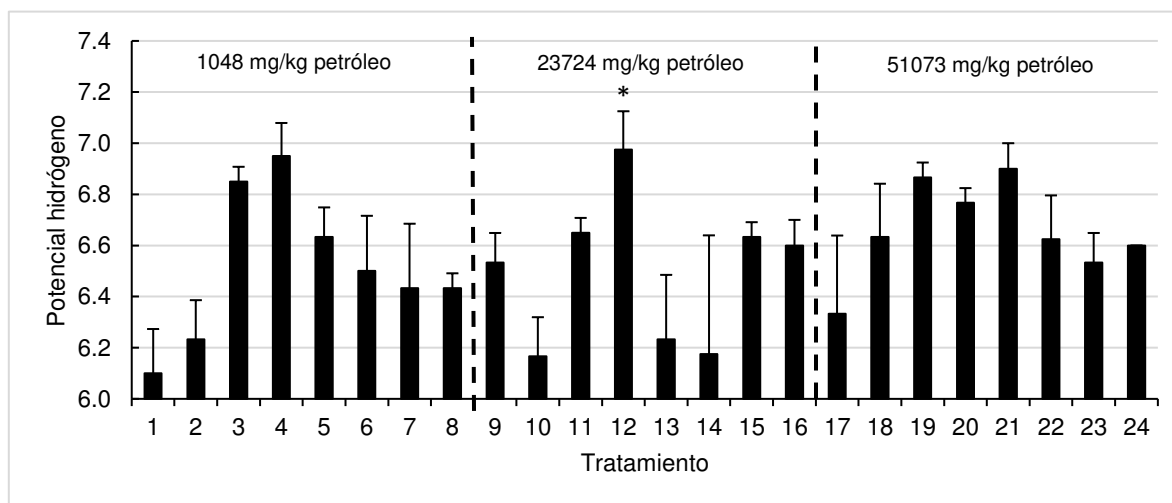


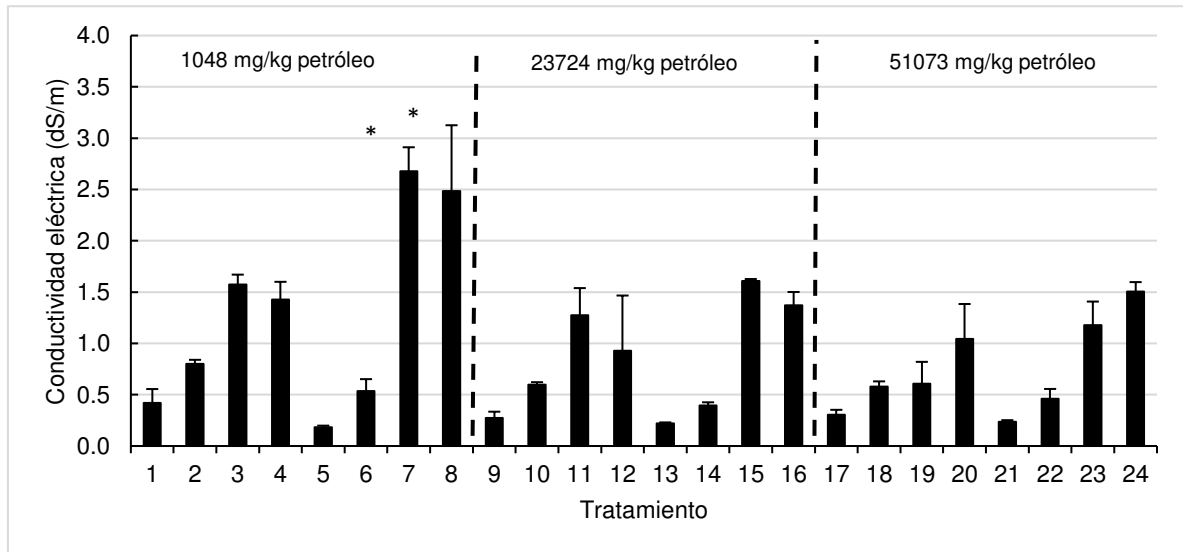
Figura 1. Efecto de la combinación del petróleo, cloruro de sodio, consorcio bacteriano y *Leersia hexandra* en los valores promedio y desviación estándar del potencial hidrógeno en suelo el día 180 después de la siembra. *Media de tratamiento con mayor diferencia estadística (Duncan, $p \leq 0.05$).

En los resultados obtenidos se muestra que el NaCl promovió los valores de la CE (Cuadro 2, Figura 2) pero solo bajo ciertos parámetros, como lo son, si existe o no interacción con la *Leersia*, la cual, de haberla, si genera un incremento, pero no es comparable al que se genera en ausencia de esta como se observa comparando los tratamientos 3 y 4 (planta) y con los tratamientos 7 y 8 (sin planta). Ahora bien, el hidrocarburo vuelve a desempeñar una función de limitador del NaCl en concentraciones más altas, dado que los suelos afectados con NaCl registran alteración en su CE con datos iguales o mayores a 4 dS/m (Porta *et al.*, 2013).



Observando los datos presentados en el Cuadro 2 y en la Figura 3 se aprecia que la MOS muestra valores porcentuales con diferencias estadísticas significativas (Duncan $p \leq 0.05$), los cuales fluctúan de 5.3% en el testigo absoluto y el mayor fue 10.1% en suelo contaminado con 51073 mg/kg de petróleo crudo. La comparación entre ambos representa 90.5% mayor en el tratamiento 24 (Cuadro 2, Figura 3). La mayor cantidad de MOS se explica porque tiene la mayor dosis de petróleo, de ahí que el carbono petrogénico incrementa la MOS. En cuanto a los niveles del COS (Cuadro 3, Figura 4) son similares con la tendencia de la MOS porque se calcula mediante una ecuación basada en la cantidad de MOS. Los valores porcentuales variaron de 3.1% en el suelo testigo absoluto (tratamiento 1) a 5.8% en el tratamiento 24 integrado por 51073 mg/kg de petróleo + 0.85% de NaCl; la cantidad alta de CO fue aportada precisamente por el petróleo a pesar que transcurrieron 180 días del inicio del experimento sin la inoculación del consorcio y también sin planta del pasto *L. hexandra*.

Figura 2. Efecto de la combinación del petróleo, cloruro de sodio, consorcio bacteriano y *Leersia*



hexandra en los valores promedio y desviación estándar de la conductividad eléctrica en el suelo el día 180 después de la siembra. *Media de tratamiento con mayor diferencia estadística (Duncan, $p \leq 0.05$).

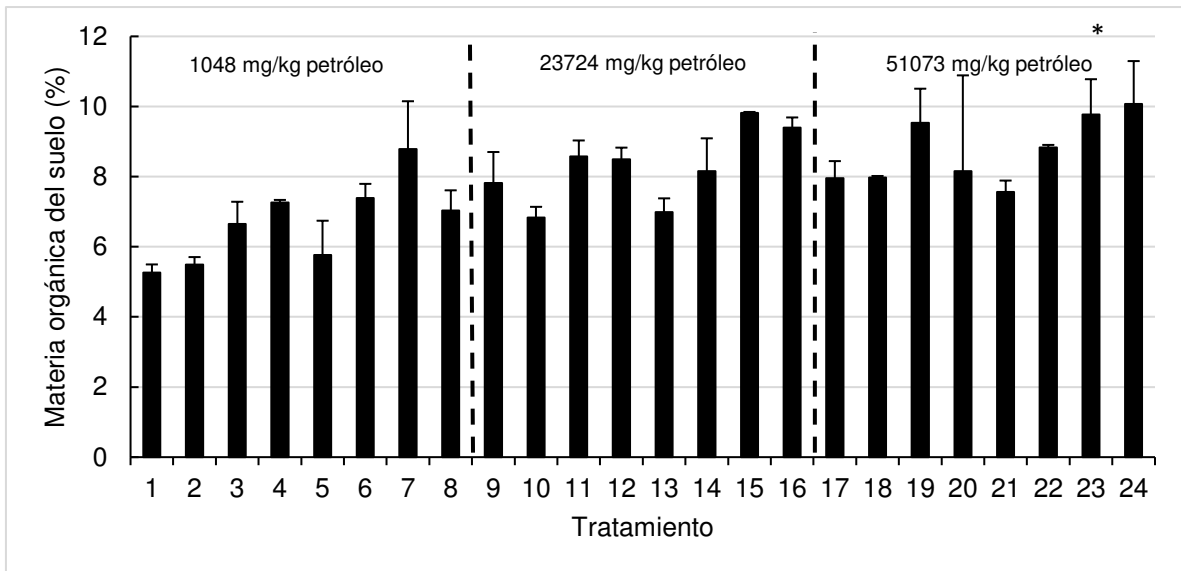


Figura 3. Efecto de la combinación del petróleo, cloruro de sodio, consorcio bacteriano y *Leersia hexandra* en los valores promedio y desviación estándar de la materia orgánica del suelo el día 180 después de la siembra. *Media de tratamiento con mayor diferencia estadística (Duncan, $p \leq 0.05$).

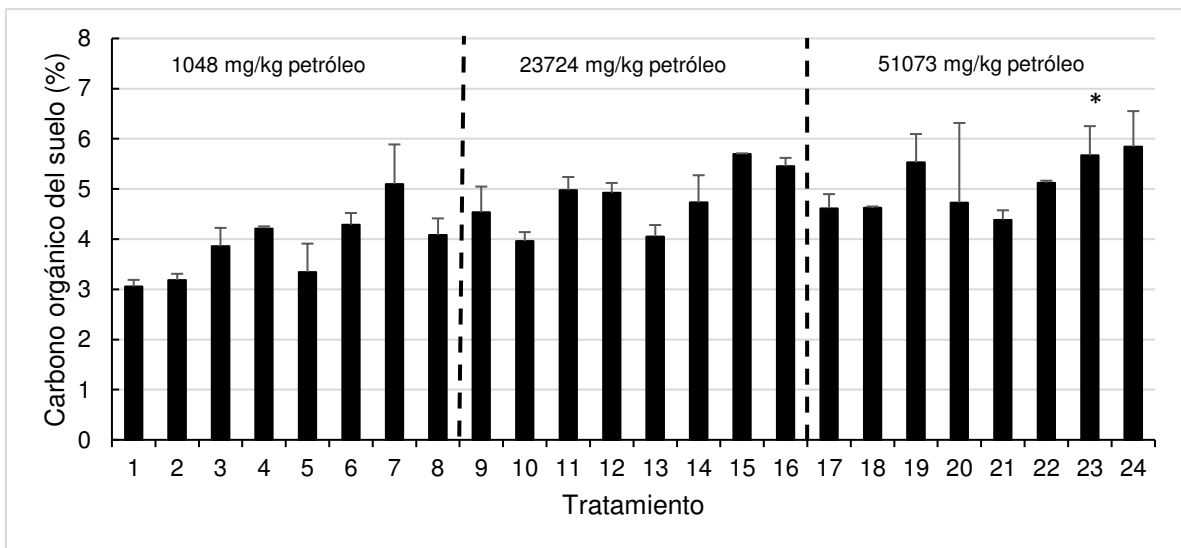


Figura 4. Efecto de la combinación del petróleo, cloruro de sodio, consorcio bacteriano y *Leersia hexandra* en los valores promedio y desviación estándar del carbono orgánico del suelo el día 180 después de la siembra. *Media de tratamiento con mayor diferencia estadística (Duncan, $p \leq 0.05$).

Los resultados de las cantidades de Nt muestran también considerable variabilidad entre los 24 tratamientos (Cuadro 3, Figura 5), además las medias de los tratamientos registraron diferencias estadísticas (Duncan, $p \leq 0.05$). La cantidad de Nt varió de 0.02 % en nueve de los tratamientos, incluyendo el testigo absoluto (tratamiento 1) a 0.04% en el tratamiento 19 (51073 mg/kg de petróleo + 0.85% de NaCl + pasto *L. hexandra* + consorcio bacteriano (*Pseudomonas* sp + *Rhodococcus* sp) (Cuadro 3). La posible fuente del incremento del Nt puede estar relacionado con el sistema radical del pasto que es tolerante al petróleo.

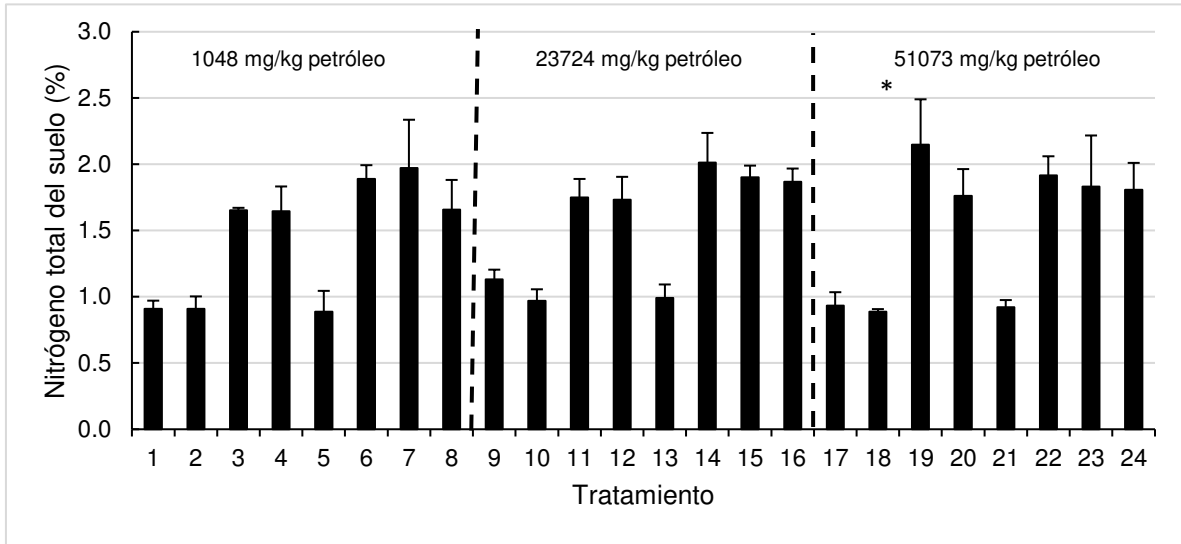


Figura 5. Efecto de la combinación del petróleo, cloruro de sodio, consorcio bacteriano y *Leersia hexandra* en los valores promedio y desviación estándar del nitrógeno total del suelo el día 180 después de la siembra. *Media de tratamiento con mayor diferencia estadística (Duncan, $p \leq 0.05$).

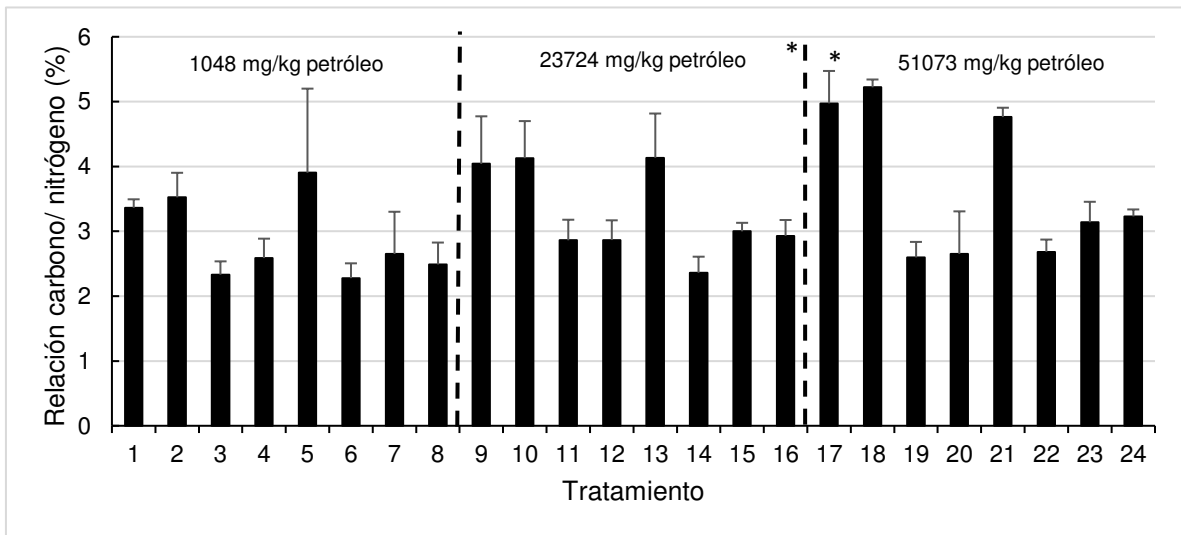


Figura 6. Efecto de la combinación del petróleo, cloruro de sodio, consorcio bacteriano y *Leersia hexandra* en la relación carbono/ nitrógeno total en el suelo el día 180 después de la siembra. *Media de tratamiento con mayor diferencia estadística (Duncan, $p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

Ocurrieron modificaciones químicas en el suelo, principalmente causadas por la interacción del NaCl con el petróleo y el pasto *Leersia hexandra*. El petróleo indujo el aumento en la materia orgánica en el suelo, en consecuencia, también el carbono orgánico del suelo. El NaCl en presencia del consorcio bacteriano y *L. hexandra* causaron aumento del potencial hidrógeno y también la conductividad eléctrica. El nitrógeno total fue mayor en suelo más contaminado y con planta del pasto. En cuanto a la relación carbono/nitrógeno total, es necesario que dos o más factores interactúen para generar cambios significativos.



LITERATURA CITADA

- Albert L.A. 2012. Curso Básico de Toxicología Ambiental. 2a. ed. Edit LIMUSA. México, D.F. 311 p.
- Benavides L. de M.J., Quintero G., Guevara V.A.L., Jaimes C.D.C., Gutiérrez R.S.M. y Miranda G.J. 2006. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova* 4(5): 82-90
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. Martes 31 de diciembre de 2002.
- DOF. 2013. Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1- 2012. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación. Martes 10 septiembre 2013.
- Etchevers B.J.D. 1992. Manual de Métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Laboratorio de Fertilidad, Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillos, Edo De México.
- Ortega E.T. 1987. Química de suelos. 1a. ed. Editorial Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, edo. de México. 312 p.
- PEMEX. 2010. Boletín No. 75/2000. PEMEX, México.
- Porta J., López-Acevedo M. y Roquero C. 2003. Edafología para la Agricultura y El Medio Ambiente. 3a. ed. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, Esp. 227 p.
- Rodríguez-Uribe ML, Peña-Cabriales JJ, Rivera-Cruz M.C., and Delano Frier JP. 2021. Native bacteria isolated from weathered petroleum oil-contaminated soils in Tabasco, Mexico, accelerate the degradation petroleum hydrocarbons in saline soil microcosms. *Environmental Technology and Innovation* Disponible en línea 7 julio de 2021, 101781
- Savala B.S. 1995. Acciones para la Remediación de Suelos en México. Segundo Mini simposio Internacional sobre Contaminantes del Agua y Suelo. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- Trujillo-Narcía A., Rivera-Cruz M.C., Lagunes E.L.C., Palma L.D.J., Soto S.S. y Ramírez V.G. 2012. Efecto de la restauración de un Fluvisol contaminado con petróleo crudo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28(4): 361-374



Sección G: Plantaciones



ESTIMACIÓN DE VOLUMEN MADERABLE MEDIANTE CUATRO ESTIMADORES EN TRES CONDICIONES DIFERENTES

WOOD VOLUME ESTIMATION USING FOUR ESTIMATORS AT THREE DIFFERENT CONDITIONS

¹Velasco-Bautista E, ²de los Santos-Posadas H y, ²Valdez-Lazalde JR

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (Cenid Comef) del INIFAP. Avenida Progreso, No. 5, Col. Barrio de Santa Catarina, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México. CP. 04010. Autor para correspondencia: velasco.efrain@inifap.gob.mx

²Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, México. CP. 56230

RESUMEN

En el proyecto del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de México, desde el punto de vista teórico se considera como unidad de muestreo un conglomerado integrado por cuatro sub-parcelas, no obstante, por diversas razones, en campo es frecuente obtener información en conglomerados menores a cuatro sub-parcelas. Las consecuencias de esta situación en la estimación de parámetros forestales no se han estudiado con suficiente detalle al considerar diversos métodos estadísticos. Entonces, el objetivo de esta investigación fue comparar cuatro estimadores para el volumen maderable en tres condiciones de completitud de las unidades de muestreo. En una población artificial de 9,370,000 árboles se diseñaron 88 redes sistemáticas de muestreo con conglomerados de sub-parcelas circulares; cada red estuvo conformada por 81 unidades de muestreo, equidistantes a 1 km. Se consideraron tres condiciones de completitud de los conglomerados: (a) 100 %, (b) 88 % y (c) 63 %. En cada condición se estimó el volumen maderable ($m^3 ha^{-1}$) mediante los siguientes estimadores: (1) Forest Inventory and Analysis (FIA), (2) Van Deusen (VAN), (3) Media de Razones (MR) y (4) Razón de Medias (RM). Como criterio de comparación se usó el sesgo relativo. El análisis de la información se llevó a cabo en el Sistema de Análisis Estadístico SAS® v9.2. En cada condición estudiada, las estimaciones de volumen por hectárea para los cuatro estimadores fueron similares e insesgadas, sin embargo, la varianza estimada mediante FIA resultó sesgada en conglomerados incompletos, con valores superiores a dos y cinco veces la varianza verdadera para la segunda y tercera condición, respectivamente.

Palabras clave: *razón de medias, media de razones, estimador Van Deusen, inventario forestal.*

INTRODUCCIÓN

Aun cuando en México se tiene una gran trayectoria en la planeación y ejecución de inventarios forestales a nivel nacional, fue hasta en 2004 cuando la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) estableció formalmente, desde una perspectiva a largo plazo, el proyecto del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS), en el cual, y con base en la experiencia internacional, se definió un diseño de muestreo estratificado sistemático por conglomerados equidistantes a 5 x 5 km, 10 x 10 km o 20 x 20 km, en función del tipo de vegetación (CONAFOR, 2012). El conglomerado o unidad de muestreo primaria es teóricamente una parcela circular de una hectárea (56.42 m de radio) en la que se evalúan cuatro sub-parcelas de 400 m², espacialmente dispuestas en forma de una “Y” invertida con respecto al norte (CONAFOR, 2018).

Por múltiples razones, existe la posibilidad de que al materializar el muestreo en campo algunos conglomerados tengan menos de cuatro sub-parcelas, lo cual conduce a conglomerados de tamaños distintos. Algunas de estas razones son las siguientes: inaccesibilidad física a una parte del conglomerado, conglomerados físicamente truncados por orografía, cambios en el uso del suelo, estratificación o tipos de vegetación, entre otras. A pesar de que el porcentaje de conglomerados incompletos del INFyS de México, en algunos casos, es superior al 10 % a nivel estatal, poco se ha



explorado sobre cuáles son las consecuencias que el uso de conglomerados de distinto tamaño tiene en la insesgadez y precisión de las estimaciones (Van Deusen, 2004).

El objetivo del presente trabajo fue comparar los estimadores FIA, VAN, MR y RM, al considerar el volumen maderable ($m^3 \text{ ha}^{-1}$), en tres condiciones de completitud de los conglomerados. Para este fin, se utilizaron como criterios el sesgo de la estimación relativo y el sesgo de la varianza relativo. La hipótesis de la investigación fue que los cuatro estimadores puntuales y los estimadores de sus respectivas varianzas son insesgados independientemente del grado de completitud del conglomerado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Al considerar como base un total 206 conglomerados de selva mediana sub-perennifolia del INFyS se generó una población artificial de 9,370,000 puntos aleatorios en la parte central de Quintana Roo, México. Cada uno de estos puntos representó un árbol, cuyo volumen se obtuvo mediante una distribución probabilística log-normal. De los 206 conglomerados, 25 estuvieron incompletos: cinco presentaron un sitio, siete tenían dos sitios y 13 contaron con tres sitios. Esta clasificación permitió definir el grado de completitud de las unidades de muestreo que se empleó en el estudio. Entonces, la investigación se llevó a cabo en las condiciones siguientes: completitud total, incluye 81 conglomerados completo; completitud al 88 %, comprende 71 conglomerados completos y diez incompletos (dos con una sub-parcela, tres con dos sub-parcelas y cinco con tres sub-parcelas); y completitud al 63 %, considera 51 conglomerados completos y 30 incompletos (seis con una sub-parcela, nueve con dos sub-parcelas y 15 con tres sub-parcelas).

La estimación del volumen maderable por hectárea se llevó a cabo mediante las siguientes estimadores: (1) Forest Inventory and Analysis (FIA), (2) Van Deusen (VAN), (3) Media de Razones (MR) y (4) Razón de Medias (RM), cuyas expresiones se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estimadores recomendados para conglomerados o parcelas incompletas.

Estimador puntual	Varianza estimada
$\bar{y}_{ha}^{FIA} = \sum_{s=1}^m y_{ha}(s)/m$	$v(\bar{y}_{ha}^{FIA}) = \sum_{s=1}^m (y_{ha}(s) - \bar{y}_{ha}^{FIA})^2 / m(m-1);$ $y_{ha}(s) = y_s / a_0 (\sum_{s=1}^m \frac{a_s}{a_0 m})$
$y_{ha}^{VAN} = \frac{\sum_{s=1}^m y_s}{\sum_{s=1}^m a_s} = y_{ha}$	$v(y_{ha}^{VAN}) = \left[\sum_{s=1}^m (y_s - a_s y_{ha})^2 \right] / \left[\sum_{s=1}^m a_s (\sum_{s=1}^m a_s - a_0) \right]$
$\bar{y}_{ha}^{MR} = (1/m) \sum_{s=1}^m (y_s / a_s)$	$v(\bar{y}_{ha}^{MR}) = \sum_{s=1}^m (y_{ha} - \bar{y}_{ha}^{MR})^2 / m(m-1);$ $y_{ha} = y_s / a_s$
$y_{ha}^{RM} = \sum_{s=1}^m y_s / \sum_{s=1}^m a_s = y_{ha}$	$v(y_{ha}^{RM}) = \sum_{s=1}^m (y_s - a_s y_{ha})^2 / \bar{a}^2 m(m-1); \bar{a} = \frac{\sum_{s=1}^m a_s}{m}$

Donde, y_s : medición de la variable y (volumen) en la parcela s ; a_0 : área de la parcela s ideal para medir la variable (0.16 ha); a_s : área de la parcela s (ha) efectivamente muestreada en campo; m : número de parcelas que pertenecen a la población de interés.

Los aspectos teóricos sobre la derivación y consideraciones generales de estos estimadores se desarrollan en Velasco *et al.* (2020).

En SAS® v9.2 (SAS Institute Inc., 2009) se diseñaron 88 redes sistemáticas diferentes (repeticiones), cada una de 81 puntos de muestreo, los cuales estuvieron a equidistancias de 1 km; cada punto representó el centro (sub-parcela número 1) de un conglomerado. Mediante las funciones trigonométricas seno y coseno se generaron los centros de las unidades de muestreo periféricas del conglomerado, es decir, sub-parcelas 2, 3 y 4 (figura 1). Las coordenadas de puntos aleatorios (árboles) y de centros correspondientes a las cuatro sub-parcelas de conglomerados se capturaron en el sistema de información geográfica ArcGis® v9.3 (ESRI, 2008). El muestreo de los árboles a través conglomerados de sub-parcelas se llevó mediante la herramienta "Intersect" de ArcToolbox-ArcMap.

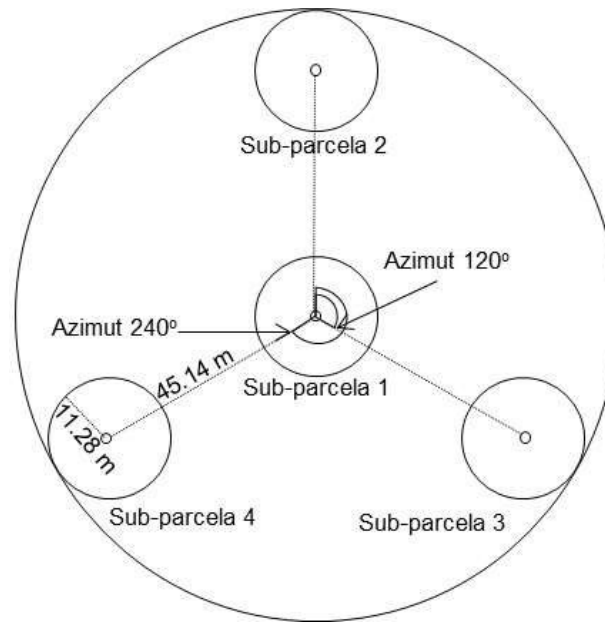


Figura 1. Disposición geométrica de las sub-parcelas (círculos pequeños de 11.28 m de radio) dentro del conglomerado o parcela (círculo grande de 56.42 m de radio).

Los cuatro estimadores estudiados en cada condición se compararon mediante el sesgo de estimación relativo (*SER*) y el sesgo de varianza relativo (*SVR*), cuyas expresiones son las siguientes (Van Deusen, 2005):

$$SER = (\hat{\theta} - \theta)/\theta \text{ y } SVR = (\hat{V} - V)/V$$

Donde, $\hat{\theta} = \sum_{b=1}^{88} \hat{\theta}_b / 88$ ($\hat{\theta}_b$ se obtiene de acuerdo a los estimadores puntuales indicados en cuadro 1), $\theta = 97.37$ es el volumen maderable ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) en la población artificial, $V = \sum_{b=1}^{88} (\hat{\theta}_b - \hat{\theta})^2 / 88$ es la varianza verdadera y $\hat{V} = \sum_{b=1}^{88} \hat{V}_b / 88$ (\hat{V}_b se obtiene conforme a las varianzas estimadas señaladas en cuadro 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la condición de completitud total, los cuatro estimadores presentaron el mismo valor puntual, para las 88 repeticiones estimaron en promedio un volumen de $97.76 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, que condujo a un sesgo de estimación relativo de 0.004. La varianza promedio estimada en los cuatro casos, a partir de las 88 repeticiones, fue de $1.79 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$, mientras que la varianza verdadera resultó de $1.82 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$, lo cual originó un sesgo de la varianza relativo muy cercano a cero (-0.0165). De esta manera, los cuatro estimadores, en la primera condición de estudio, resultaron insesgados tanto en la estimación puntual como en la varianza. Estos hallazgos son optimistas en el sentido de que cuando en los conglomerados se toma la información en las cuatro sub-parcelas, cualquiera de los cuatro estimadores estudiados pueden ser de utilidad.

En la condición de completitud al 88 %, los estimadores RM, FIA y VAN coincidieron y en promedio estimaron, a partir de las 88 repeticiones, un volumen de $97.69 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, el cual resultó ser ligeramente diferente de la estimación de MR, cuyo valor fue de $97.60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Entonces, en el primer caso, el sesgo de la estimación relativo fue de 0.0033, y en el segundo, de 0.0024. Por lo que, en la segunda condición de estudio, los cuatro estimadores del volumen se consideraron prácticamente insesgados.

La varianza verdadera de RM, FIA y VAN fue de $2.04 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$ y MR de $2.22 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$; asimismo, la varianza estimada de FIA ascendió hasta un promedio de $5.18 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$, en tanto que la varianza



promedio estimada de RM y VAN fue de $1.88 \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$ y la de MR de $2.03 \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$. De esta forma, el sesgo de la varianza relativo para RM y VAN fue de -0.0784 , MR de -0.0856 y FIA ascendió hasta 1.5392 . En consecuencia, en la condición de completitud al 88% , la varianza estimada para MR, RM y VAN también se consideró insesgada, no obstante, la varianza estimada de FIA, al ser más de dos veces la varianza verdadera, se consideró sesgada.

En el nivel de completitud al 63% , los estimadores RM, FIA y VAN en promedio estimaron $97.61 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, valor tan cercano al obtenido mediante MR, el cual estimó $97.65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. De este modo, el sesgo de la estimación relativo para RM, FIA y VAN fue de 0.0025 y MR de 0.0029 . Entonces, aun en un grado bajo de completitud de conglomerados (63%), los cuatro estimadores evaluados resultaron insesgados.

En tanto, la varianza verdadera de RM, FIA y VAN fue de $2.19 \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$ y MR de $2.69 \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$, la varianza estimada de FIA alcanzó en promedio $11.51 \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$, superando por mucho la varianza promedio estimada de RM y VAN que fue de $2.12 \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$ y de MR que resultó de $2.50 \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1})^2$. De tal manera que el sesgo de la varianza relativo correspondiente a RM y VAN fue de -0.0320 , mientras que para MR de -0.0706 y FIA de 4.2557 . Por tanto, en la condición de completitud al 63% , los estimadores de la varianza para MR, RM y VAN también presentaron un muy sesgo pequeño; no obstante, la varianza estimada de FIA, al superar por más de cinco veces la varianza verdadera puede considerarse altamente sesgada.

Los resultados obtenidos en la condición de completitud total, estimaciones y varianzas idénticas, era de esperarse, debido a que cuando $a_s = a_0$ teóricamente se puede demostrar que los cuatro estimadores resultan en una expresión común. Entonces, bajo un escenario de unidades de muestreo completas puede aplicarse cualquiera de los cuatro estimadores ensayados en esta investigación, inclusive el estimador FIA, cuya expresión matemática considera una proporción promedio de la parcela que pertenece a la población o dominio de interés. Por otra parte, el hecho de que las estimaciones puntuales de FIA, VAN y RM resultaran iguales, incluso cuando los conglomerados son incompletos, no es sorprendente, en virtud de que al considerar $\bar{a}_m = \sum_{s=1}^m a_s$, los tres estimadores resultan en una expresión común.

Los sesgos de las varianzas relativos en las condiciones de completitud parcial son congruentes con los reportados por Van Deusen (2005). Este autor, al comparar FIA y VAN obtuvo un sesgo relativo de la varianza de FIA de casi 2 cuando analiza una proporción promedio de parcela de 0.75 , mientras que el estimador VAN siempre se comporta insesgado.

A pesar de que el tamaño de muestra utilizado en el presente estudio puede considerarse pequeño — 81 conglomerados—, se observa que los estimadores evaluados son insesgados independientemente del grado de completitud simulado.

Aun cuando los estimadores comparados en esta investigación se derivan a partir de modelos, se considera que la inferencia se realiza en el contexto de inferencia asistida por modelos, en este sentido los cuatro modelos (FIA, VAN, MR y RM) únicamente sirven como una herramienta para encontrar una estimación apropiada de la media.

CONCLUSIONES

En la condición de completitud total, los cuatro métodos estudiados conducen a las mismas estimaciones y varianzas; las estimaciones de volumen por hectárea y las varianzas estimadas son insesgadas independientemente del estimador.

Conforme el grado de completitud de los conglomerados es menor, las varianzas estimadas de VAN, MR y RM se mantienen insesgadas, mientras que la varianza estimada de FIA se vuelve fuertemente sesgada.



AGRADECIMIENTOS

Se extiende un agradecimiento a la Comisión Nacional Forestal de México por haber proporcionado las bases de datos del INFyS de selva mediana sub-perennifolia de Quintana Roo, correspondiente al año de 2010.

LITERATURA CITADA

- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2012. Inventario Nacional Forestal: Informe 2004-2009. Zapopan, Jalisco, México. SEMARNAT. 212 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2018. Inventario Nacional Forestal y de Suelos: Informe de Resultados 2009-2014. Zapopan, Jalisco, México. CONAFOR. 199 p.
- ESRI. 2008. ArcGis 9®. Geoprocessing Commands Quick Reference Guide. New York, USA. 220 p
- SAS Institute Inc. 2009. SAS/STAT® 9.2. User's Guide, Second Edition. SAS Institute Inc. North Carolina, USA. 7886 p.
- Van Deusen, P.C. 2004. Forest inventory estimation with mapped plots. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 493-497.
- Van Deusen, P.C. 2005. Comparing mapped plot estimators. *In: McRoberts, R.E., Reams, G.A., Van Deusen, P.C., y McWilliams, W.H. (eds.) Proceedings of the Sixth Annual Forest Inventory and Analysis Symposium, 21-24 September 2004. Gen. Tech. Rep. WO-70. Forest Service. United States Department of Agriculture. Denver, CO, USA. pp. 93-97.*
- Velasco-Bautista, E., de los Santos-Posadas, H., Ramírez-Maldonado, H., Rendón-Sánchez, G., Valdez-Lazalde, J.R. y Acosta-Mireles, M. 2020. Estimadores para atributos forestales en una población simulada de selva mediana del sur de México. *Bosque*, 41(3):307-320.



DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS POTENCIALMENTE MUY APTAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL ÁRBOL DE RAMÓN (*Brosimum alicastrum swartz*) EN EL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO.

HIGH DETERMINATION POTENTIAL AREAS TO STABLISH RAMÓN TREE (*Brosimum alicastrum swartz*) IN TABASCO, MEXICO STATE.

González Rivera F, ¹*Arrieta Rivera A, ²Aceves Navarro LA, ¹Sánchez Hernández R, ¹Ruiz Acosta SC

¹Tecnológico Nacional de México/IT de la Zona Olmeca, Cuerpo Académico Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Ignacio Zaragoza S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México. 86270;

²Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Carlos A. Molina s/n km 3.5, H. Cárdenas, Tabasco, México. CP 86570.

Autor para correspondencia: agria_39@yahoo.com.mx

RESUMEN

El Ramón (*Brosimum alicastrum Sw*) es un árbol perenne de la familia de las moráceas, es resistente a las sequías y alcanza hasta 40 m de altura, desarrollándose desde 10 hasta 1,600 msnm (CONABIO-CONAFOR, 2012). El Objetivo fue desarrollar un mapa de aptitud agroecológica que identifique las zonas con alto potencial productivo para el cultivo del árbol del ramón, en el estado de Tabasco. Para la realización de la zonificación edafoclimática se utilizaron datos provenientes de 29 estaciones meteorológicas distribuidas en el estado de Tabasco, el uso del software ArcGIS v. 10 (ESRI, 2011). Cartas edafológicas, de pendiente, altitud, precipitación y temperatura a escala 1:250,000. La metodología fue en base a Fischer et al., (2012), consistió en la evaluación del recurso suelo con base en las unidades y subunidades de suelo del sistema FAO/UNESCO. Para ello, se integraron datos de acuerdo a Jiménez (2014) y Palma-López et al., (2017). Obteniendo como resultado una superficie total de 431,324.85 ha con alto potencial para el establecimiento de plantaciones de *Brosimum alicastrum*, lo cual representa el 40.1% del total del estado de Tabasco. Los suelos que dominan con alto potencial son los Vertisoles representado con el 43.3%, los Luvisoles con el 26.89 %, los Leptosoles con el 26.4% y los Cambisoles con el 2.97%. Considerándose así que en el estado de Tabasco existen zonas con aptitud óptima edafoclimática para cultivar *Brosimum alicastrum* en una superficie de 431,324.85 ha, distribuidos con mayor área en los municipios de Huimanguillo, Comalcalco, Cárdenas, Macuspana, en todo el estado.

Palabras clave: *Brosimum alicastrum*, zonificación de cultivos

INTRODUCCIÓN

Brosimum alicastrum (Swartz), es una especie de árbol tropical dominante de las selvas de México, es de gran tamaño, que puede alcanzar alturas de hasta 40 metros y un diámetro mayor a un metro, pertenece a la familia Moraceae, de hoja perenne, se puede encontrar en gran parte del país con diferentes nombres comunes según el lugar de distribución como, ramón, ojite, ojoche, ox, huje, capomo o apomo (Pennington y Sarukhán, 2005). Es por ello que atendiendo la importancia que tiene esta especie el objetivo del presente estudio fue determinar las mejores áreas en el estado de Tabasco, donde se puedan establecer plantaciones de Ramón y así poder realizar propuestas de planificación correspondientes de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el estado de Tabasco, ubicado en el sureste de México, situado entre las coordenadas 17°19'00" y 18°39'00"N y 90°57'00" y 94°08'00" O (INEGI, 2017). Se definen las zonas con base en combinaciones de los requerimientos climáticos, edáficos y de manejo de la plantación. Considerándose los requerimientos edafoclimáticos de ramón (*Brosimum alicastrum (Swartz)*) (Cuadro 1).



CUADRO 1. Requerimientos edafoclimáticos para el ramón (*Brosimum alicastrum* (Swartz)).

Variabes edafoclimáticas	Rango potencial	Variabes edafoclimáticas	Rango potencial
Altitud (msnm)	Media: 221.3 Mínima: 15.0 - 50 Máxima: 800 - 1,000	Suelo	Leptosol, Vertisol, Cambisol, Alisol
Temperatura °C	Media: 26 Mínima: 21 Máxima: 31.1	Características físicas	Profundidad: someros < 50 cm Textura: de arcillosa a franca Pedregosidad: pedregosos con afloramiento rocoso Estructura: bien drenados. Color: de rojizo a gris oscuro.
Precipitación (mm)	Media: 1,496 Mínima: 1,000 (5); 6 Máxima: 2,500 (5); 4,000 en Chiapas y Tabasco.	Características químicas	pH: neutro; de ligeramente ácidos a alcalinos, 6.8 – 8.2. Materia orgánica: de moderada a rica.

Para la realización de la zonificación agroecológica (ZAE) se utilizaron datos diarios provenientes de 29 estaciones climatológicas distribuidas en el estado de Tabasco. Las cuales fueron seleccionadas bajo el criterio de un número mínimo de 10 años de funcionamiento continuo.

Con toda la información se generó una base de datos con cada una de las variables climatológicas consideradas para cada estación climatológica. Cada variable contaba con la posición georreferenciada (latitud y longitud) y sus variables topográficas, como altura, exposición y pendiente. Se trabajo con cartas edafológicas, de pendiente, altitud, precipitación y temperatura a escala 1:250,000.

La segunda fase del procedimiento de zonificación agroecológica (ZAE) consiste en la evaluación del recurso suelo con base en las unidades y subunidades de suelo del sistema FAO/UNESCO. Para ello, se integraron datos cartográficos referentes a subunidades de suelos, como son textura, pendiente, profundidad del suelo y su fertilidad reportados por **Palma-López et al., (2017)**, cuyas propiedades edafológicas se compararon con las que requiere el cultivo de (*Brosimum alicastrum* (Swartz)), de acuerdo con las recomendaciones de **CONABIO (2009)**, **Muñoz et al., (2017)**, las que se le asignaron como aptitud óptima.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones óptimas para la especie de *Brosimum alicastrum* (Swartz) van desde 1,000 hasta 4,000 mm, con una media de 1496 mm, la precipitación anual óptima va desde 800 a 1200 mm. En Tabasco, la mayor parte del año presenta rangos superiores >1900 mm anuales principalmente en los municipios de Teapa, Jalapa, Tacotalpa y Macuspana alcanzando valores superiores a 3100 mm anuales (INEGI, 2017).

El uso potencial de los suelos según Palma-López et al., (2007) es aquella aptitud de la tierra que indica el potencial que tiene un suelo para producir un cultivo en específico. De las 121 subunidades de suelo para Tabasco reportadas por **Jiménez et al., (2014)** únicamente 43 presentan un alto potencial productivo para implementar plantaciones de la especie objeto de estudio. Estos suelos, en conjunto, suman una superficie de 431,324.85 ha, encontrándose suelos como: Leptosol, Vertisol, Luvisol y Cambisol.

En Tabasco se encuentra una diversidad de regiones fisiográficas diferenciadas por las altitudes encontrándose desde la zona de la costa, hasta la sierra. El potencial alto se encuentra en zonas de montañas y lomeríos donde las pendientes son mayores a un 20 % de inclinación del terreno y los suelos dominantes son muy delgados menores a 10 cm en general, la fertilidad de esta zona es limitada en nutrientes y con alta presencia de carbonatos, en las zonas más secas el pH tiende a la alcalinidad.



Es decir, esta especie se adapta a suelos muy arcillosos, profundos, así como a suelos someros y altamente pedregosos. Dentro de las demás 78 subunidades restantes de suelos del estado de Tabasco, se encuentran como potencial medio y potencial bajo es decir son suelos no aptos para el *Brosimum alicastrum (Swartz)*, debido a que la mayor parte del año presentan problemas de inundación como son los Histosoles, Gleysoles, Solonchak y algunos Fluvisoles, en los que se les encuentra con problemas de inundación la mayor parte del año. En el Cuadro 2, se muestra que solo el 39.94 % de la superficie tiene alto potencial edafoclimático para el establecimiento del ramón. Las áreas con alto potencial se concentran en cinco municipios: Balancán (285,061.02 ha), Tenosique (140,667.59 ha), Huimanguillo (91,542.26 ha), Macuspana (75,331.98 ha) y Cárdenas (74.661 ha).

CUADRO 2. Potencial edafoclimático y su superficie.

POTENCIAL EDAFOCLIMÁTICO	SUPERFICIE	
	HA	%
POTENCIAL BAJO	1,209,180.84	48.94
POTENCIAL ALTO	986,877.38	39.94
POTENCIAL MEDIO	274,508.45	11.12
TOTAL	2,470,566.67	100.0

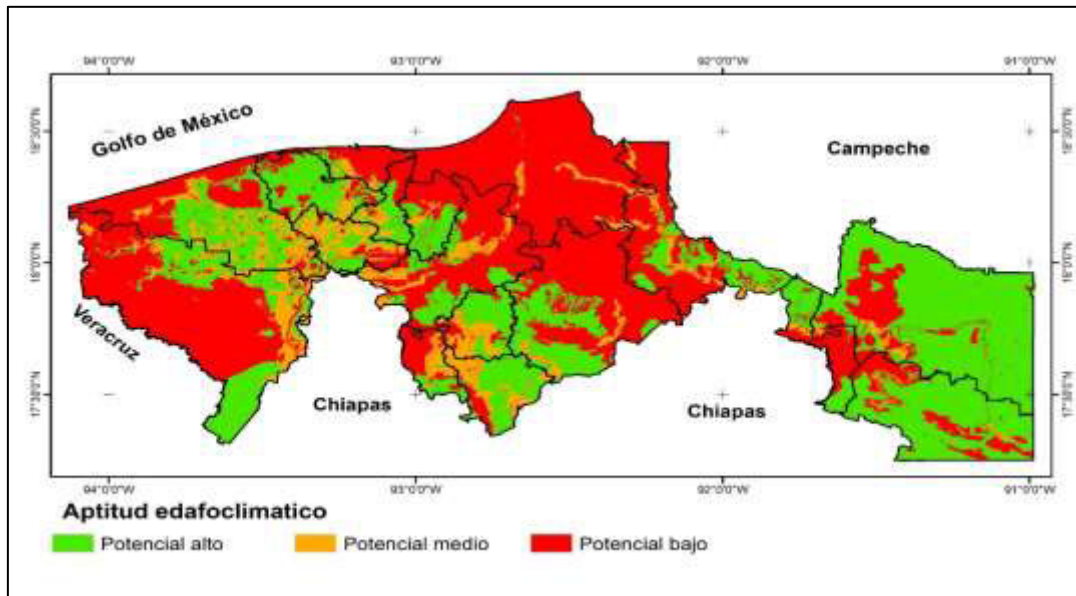


Figura 8: Zonas potenciales para establecer *Brosimum alicastrum* en Tabasco.

CONCLUSIONES

Tabasco cuenta con una superficie total de 986,877.38 ha con alto potencial para el establecimiento de plantaciones de *Brosimum alicastrum (Swartz)*, lo que representa el 39.94% del total del estado de Tabasco. Los suelos que dominan con alto potencial son los Vertisoles representado con el 43.3%, los Luvisoles con el 26.89%, los Leptosoles con el 26.4%, y los Cambisoles con el 2.97%.

De lo anterior se concluye que en los 17 municipios del estado de Tabasco existen áreas con aptitud óptima edafoclimática para cultivar *Brosimum alicastrum (Swartz)*, siendo los principales municipios de Balancán, Tenosique, Huimanguillo, Macuspana y Cárdenas donde se concentra más del 67% del área con alto potencial (FIGURA 1).

LITERATURA CITADA

- CONABIO. 2009. Paquetes Tecnológicos. *Brosimum alicastrum Swartz*
 INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2017 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. —México. 443 pp.



-
- Muñoz F.H.J., Saenz R.J.T., Rueda S.A., Gómez C.M., Castillo Q.D., Castillo R.F. 2017. Áreas potenciales para plantaciones forestales con *Brosimum alicastrum* Sw., con fines de restauración. *Revista Mexicana de ciencias forestales* 9(45): 1-29.
- Palma-López D.J., Cisneros D.J., Moreno C.E., Rincón R.J.A. 2007a. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, México. 195 p.
- Pennington, t.d., y J. sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Fondo de Cultura económica, México.



SENSORIZACIÓN DE UNA SEMBRADORA CONVENCIONAL PARA MONITOREO DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN

A CONVENTIONAL SEEDER SENSORIZATION FOR MONITORING OPERATIONAL PARAMETERS

¹Rivera Barbosa R, ²Escamilla Martínez A

¹Departamento de Posgrado CIATEQ, A.C. / Área de Máquinas CIATEQ A.C. Centro de Tecnología Avanzada, Sede Aguascalientes. Circuito Aguascalientes Norte Núm. 135 Parque Industrial del Valle de Aguascalientes. San Francisco de los Romo, Aguascalientes, México.

²CIATEQ A.C. Centro de Tecnología Avanzada, Sede Querétaro. Av. Manantiales No. 23-A parque Industrial Bernardo Quintana. El Marqués, Querétaro.

Autor para correspondencia: rrivera@ciateq.mx

RESUMEN

Las tecnologías para la mecanización agrícola utilizadas actualmente en diferentes regiones de México son de carácter intermedio, donde aún interviene la mano del hombre y no se tienen las facilidades electromecánicas para el control automático de los procesos de siembra. Negrete (2006) cita que el uso de tecnología depende de diversos factores tales como las condiciones sociales, económicas y culturales, la topografía del terreno, y en general del desarrollo tecnológico global de los países. El presente proyecto de investigación tiene el propósito de mejorar la eficiencia de la operación de las sembradoras de granos cuyo nivel tecnológico corresponde al nivel intermedio; aquí se plantea la implementación de sistemas para el monitoreo de los parámetros básicos de operación que permitan al operador conocer en tiempo real la presencia de un mal funcionamiento. De acuerdo con lo anterior, se presentan los resultados de un estudio de ingeniería de una máquina sembradora de granos que incorpora el monitoreo de dos parámetros, profundidad de siembra y separación entre semillas sembradas; además del monitoreo de la dosificación y los niveles de los depósitos de fertilizante y semilla. Con base al estudio del estado de la técnica se determinó la factibilidad de la implementación de sensores comerciales para el monitoreo de parámetros de proceso; lo que deberá asegurar la confiabilidad en la eficacia del proceso de siembra.

Palabras clave: *Sembradora, monitoreo, parámetros, sensorización, diseño.*

INTRODUCCIÓN

Las actividades de siembra de semillas tuvieron su origen desde que la civilización cambió sus hábitos de vida nómada a sedentarios, teniendo la necesidad de proveerse de alimentos; la ganadería surge por la sustitución de la caza, y la agricultura por la sustitución de la recolección. En los tiempos actuales, el crecimiento de la población y la necesidad de asegurar cada vez más alimento aceleró el desarrollo tecnológico en toda cadena productiva, desde la preparación del suelo hasta la transformación a productos consumibles por el hombre (Homer I, Villa R. 2015). Una de las actividades fundamentales en todo este desarrollo, es la actividad de siembra el punto de partida del ciclo productivo y reproductivo de una planta.

La siembra de semillas partió de su simple colocación en el suelo, con condiciones de humedad razonables y fuera del alcance de depredadores. Con el tiempo se desarrollaron herramientas y máquinas para lograr mejores camas de siembra, hasta llegar al desarrollo de paquetes tecnológicos con especificaciones precisas de cómo hacer cada una de las actividades, incluyendo la siembra. En la actualidad se dispone de una gama amplia de tecnologías para la siembra, subsistiendo métodos tradicionales, tecnologías intermedias y tecnologías avanzadas, que permiten colocar la cantidad precisa de semillas a la profundidad y la separación correcta.



México no quedó al margen de este proceso, y la modernización de la agricultura se puede decir que inicio desde los años 40, con gran auge en los 70 donde el campo mexicano se “tractorizó”, y junto con ello vinieron los implementos agrícolas para realizar las actividades básicas de preparación del suelo y siembra que incluyeron rastras, arados, cultivadores y sembradoras.

El abanico de tecnologías para la mecanización se deriva de la diversidad socio económica, topográfica, de disponibilidad de la tierra y de las condiciones de la disponibilidad de agua. Existiendo regiones donde la agricultura es totalmente tradicional, donde es semi mecanizada con tecnologías intermedias y donde es mecanizada o incluso automatizada con tendencia a la agricultura 4.0.

Aun cuando no se tienen datos precisos de la cantidad de sembradoras existentes en el país, se puede hacer algunas estimaciones. En 2019 se reportaban 3,510,381 unidades de producción agrícolas a cielo abierto (INEGI, 2019), de las cuales el 36.4 % utilizaron sembradoras propias (maquinaria propia) esto es 1,277,778 unidades. Se reporta también la existencia en 2011 de alrededor de 238,830 tractores, de los cuales el 54% ya supero su vida útil (Gutierrez-Rodriguez, et al., 2018); se puede notar que la relación entre tractores disponibles y sembradoras es muy dispareja. Aun cuando no se puede determinar con precisión la cantidad de sembradoras de nivel tecnológico intermedio, se puede suponer que, por la cantidad de tractores obsoletos, al menos la mitad de las sembradoras existentes también lo sean. Esto indica que por lo menos deberá haber sobre 638 mil sembradoras de este tipo. Se observa también, aun cuando los datos son de tiempos diferentes, que existes más sembradoras que tractores, y esto se debe a que en algunas unidades productivas tienen tanto sembradoras de precisión como a chorrillo.

El funcionamiento de una sembradora se basa en mecanismos sincronizados que permiten preparar la tierra con fertilizante; los sistemas de ajuste, ruedas reguladoras y discos abridores y mecanismo basculante tienen como objetivo atenuar las irregularidades del piso para lograr una profundidad uniforme, el sistema dosificador controla la separación entre plantas y finalmente los discos cerradores cubren para proteger la semilla.

Los problemas típicos de las sembradoras de precisión convencionales se centran en las siguientes situaciones. (1) asegurar la colocación de la semilla a la profundidad recomendada; (2) lograr la separación recomendada entre semillas; (3) asegurar que el mecanismo dosificador no dañe a la semilla, (4) asegurar que se dosifica la cantidad correcta de semillas; (5) asegurarse que no se obstruya el flujo de semilla hacia el surco en el suelo; (5) asegurarse que la semilla quede tapada con el suelo, y (6) prever el momento de recarga del depósito de semilla. Las mermas que pueda tener la nacencia de semilla involucra todos estos parámetros, así como la velocidad de avance del tractor; se ha verificado que a mayor velocidad de avance, existe mayor variación en la distancia de siembra; y esto tiene que ver con la velocidad de caída y las velocidades relativas entre el avance del tractor y la caída de la semilla, que puede generar rebotes (Agritotal.com 2021). Tiene más impacto en el rendimiento, la profundidad de siembra que la variación en la separación entre semillas

Empresas extranjeras dedicadas a la venta de implementos agrícolas tiene una gran variedad de productos que facilitan las actividades del campo; estos cuentan con alta tecnología, pero con costos muy fuera del alcance de los pequeños agricultores; por lo anterior se identifica como área de oportunidad realizar el diseño de un sistema básico para censado de parámetros de operación, los cuales se puedan adaptar a diseño de sembradoras existentes

El primer sistema mecánico para la siembra de semillas se remonta a 1,701 en un diseño del británico Jethro Tull, y a partir de ahí se vinieron diversos desarrollos hasta llegar en la actualidad a equipos muy completos y sofisticados. Una sembradora típica montada a tractor agrícola (Fig. 1) básicamente consiste en un depósito, un dosificador, un abridor de surco que forma el canal en el suelo donde se descarga la semilla, una rueda asentadora con rastras que cubre la semilla y una rueda compactadora que complementa la cobertura con tierra. Todas las sembradoras tienen un sistema de control de la profundidad de siembra, qué para el caso mostrado en la siguiente imagen, consiste en un mecanismo de barras sostenido por la rueda delantera, un mecanismo regulador de profundidad y la rueda compactadora. La distancia entre semillas en el suelo, lo proporciona el mecanismo dosificador que

suele ser un disco con orificios radialmente equidistantes, donde se aloja una semilla tomada desde el depósito y que de acuerdo con su giro descarga la semilla; este giro en muchos casos se lo proporciona una rueda motriz que es parte de la sembradora y que se acciona por propio avance de la máquina.

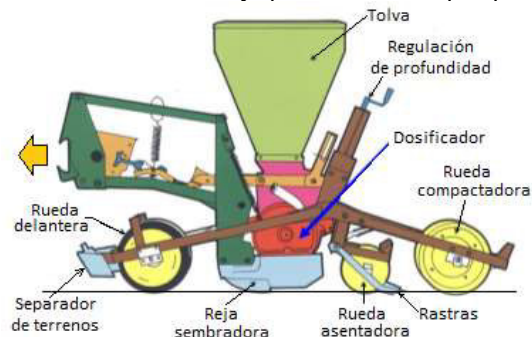


Figura 1. Elementos principales de una sembradora (Marquez, L.)

Los sistemas actuales, sobre todo en equipos de gran ancho de trabajo incluyen sistemas sofisticados de control de los parámetros de operación, donde, desde la cabina del operador del tractor, conocen en tiempo real la operación, e incluso pueden tener sistemas de monitoreo y control satelital. Asociado a estos mecanismos y al planteamiento del problema de tecnologías intermedias y de eficiencia; sin embargo, para condiciones de agricultura intermedia o de subsistencia, con predios pequeños subsisten los equipos con sistemas de control mecánicos.

Garrido (2010) y Conceicao *et al.* (2016) realizaron estudios sobre sensorización en máquina sembradoras en los cuales se monitoreó la variable de profundidad mediante una celda de carga y un transductor de desplazamiento lineal variable (LVDT Linear Variable Displacement Transducer), donde la profundidad de la semilla se correlacionó negativamente con la resistencia del suelo y la profundidad tuvo un impacto significativo en el tiempo medio de nascencia y porcentaje de plantas emergidas; se realizaron pruebas para evaluar los parámetros, durante las cuales se registraron buenos resultados mediante la incorporación de la instrumentación que se indica en la figura 2 y 3.

El estudio contaba con un sistema GPS ubicado según se muestra en la figura 3, dicho equipo se consideró para identificar las condiciones del monitoreo realizado por el sistema LVDT y la celda de carga durante en el recorrido realizado por la sembradora; el estudio demostró que la incorporación de la celda de carga y el LVDT ayudan al monitoreo de la profundidad de sembrado, también se utilizó un sensor magnético angular para detectar la posición del brazo y una fotocelda para el paso de la semilla, esto se puede apreciar en las flechas indicadoras de la figura 4, a diferencia del sistema LVDT y Celda de carga estos últimos no demostraron efectividad durante las pruebas.



Figura 2. Ubicación de la celda de carga, LVDT y sensor para paso de semilla



Figura 3. Ubicación de GPS para monitoreo de separación entre plantas



Figura 4. Ubicación del sensor para detección de paso de semilla y del sensor de ángulo magnético

En un estudio encontrado en un artículo de Grienpentrog (2005) se presentó el desarrollo y evaluación de un registro de datos conectados a una sembradora de precisión para definir la posición de la semilla en un campo de remolacha (sistema global cinemático en tiempo real, para esto se instalaron detectores de semillas y un sistema de registro de datos para mapear las semillas a medida que avanzaban, el estudio consideró un diagrama de control como se aprecia en la figura 5, la aplicación de éste mostró un error promedio entre el monitoreo y lo real entre 16 y 43 mm, dependiendo la velocidad de él sistema, dicho estudio concluyó que la desviación era aceptable para la aplicación.

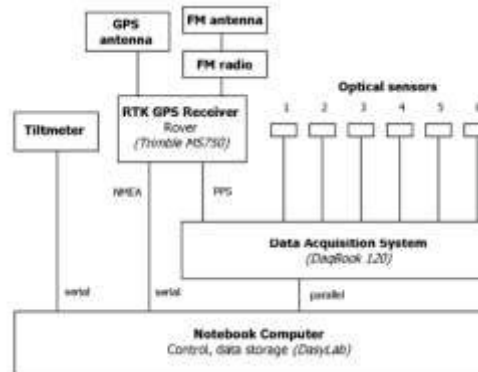


Figura 5. Sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la semilla

De acuerdo con la información previamente analizada, el presente trabajo tiene como objetivo proveer de tecnologías de mediano costo, eficientes y adaptables a sembradoras mecánicas tradicionales, ampliamente usadas en México, para llevarlas a un nivel tecnológico superior, sin llegar a ser de alta tecnología. Entonces se presenta el diseño al nivel de ingeniería de detalle de una sembradora con sistemas de sonorización que permita el monitoreo de parámetros en tiempo real, de profundidad de siembra, distancia entre semillas sembradas, y niveles de llenado en depósitos de fertilizante y de grano, con sistema de alarma visual en la zona del volante del operador.

La hipótesis planteada es la siguiente: Es posible realizar un diseño de un sistema de sensorización y monitoreo de parámetros de siembra y suministros en tiempo real que a la vez tenga la capacidad de ser adaptable al diseño de sembradoras con características similares.



MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó una parte de la metodología de diseño mecánico en ingeniería que consiste en la ingeniería conceptual, básica y de detalle; la metodología completa incluye la fabricación y pruebas, lo que se realizará posteriormente.

Ingeniería Conceptual: Consiste en la formulación, evaluación y selección de alternativas para establecer la solución más viable para comprobar la hipótesis. En la evaluación de alternativas se deben tomar los siguientes criterios: Viabilidad de la solución, tiempo, costo, funcionalidad, mantenimiento y seguridad.

Consideraciones en esta etapa: Diseño Industrial: Seguridad, Ergonomía, Estética, Usabilidad, Ecología, Ciclo de vida del producto, Ambiente, Disposición final.

- Entregables: Especificación técnica

Ingeniería Básica: Es la determinación de los parámetros de diseño, que satisfacen los requerimientos funcionales del producto, tales como: Velocidad, fuerza, presión, Temperatura, memorias de cálculo (partes maquinadas y partes comerciales), diagramas de control y elaboración de listados.

- Entregables: Listados y Modelado 3D

Ingeniería de Detalle: Esta etapa se orienta a la generación de la información de diseño necesaria y suficiente para la construcción de un prototipo o producto, tales como: Dibujos de ensamble y fabricación, diagramas neumáticos, diagramas hidráulicos, diagramas eléctricos, especificaciones de compra, especificaciones de fabricación y reportes técnicos.

- Entregables: Documentación de ingeniería

RESULTADOS Y DISCUSION

Las etapas anteriormente mencionadas se aplican de la siguiente manera:

a) Ingeniería conceptual.

En la etapa de planeación se identificaron los requisitos de diseño, como se muestra a continuación:

- Variedades de granos a procesar: 1 (frijol)
- Número de sembradoras que puede soportar el bastidor: 4 sembradoras.
- Ajuste mecánico de altura para la profundidad del sembrado (2 cm a 8 cm).
- Intercambiabilidad de disco para tipo de semilla entre un rango de 0.8 cm y 1.6 cm de largo.
- Uso de dosificador de semillas comercial (mecánico o neumático).
- Tolva para grano con capacidad de 30 L.
- Rango de distancia entre surcos de 40 a 100 cm.
- Ajuste de la distancia entre semillas de 6 a 15 cm.
- Velocidad de la sembradora de 2 a 5 Km/h.

Dentro de esta misma etapa se realizó un estudio y validación de patentes, se identificaron los aspectos protegidos de propiedad industrial; John Deere y Garner, se identificaron las patentes que se encuentran en estado legal "dead" y estado de abandono los elementos mecánicos que pueden ser reproducibles. En la etapa de diseño conceptual del diseño de la sembradora, se inició con el levantamiento dimensional de una sembradora marca dobladense modelo SL-400JM, posterior al levantamiento se identificaron áreas de oportunidad en otros diseños de sembradoras para lograr un diseño robusto y con mejores prestaciones para la operación, en el siguiente listado se especifican:

1. Sistema de arrastre con ruedas de apoyo fijas al bastidor
2. Sistema de nivelador de altura mediante tornillo y resorte de compresión
3. Mecanismo Pivotante de 4 barras para movimiento pivotante
4. Fijación doble al tractor
5. Tolvas de insumos rectangular para fertilizante y circular para semilla

Se identificaron los sistemas principales del diseño en sembradoras de los proveedores de mayor presencia en México tales como: Dobladeses, John Deere, Swissmex y Sembradoras del bajo (Garduño H. 2017). La conceptualización inicial quedo de la siguiente manera (Figura 6).



Figura 6. Conceptualización inicial de la sembradora

La sembradora a la cual se le incorpora el sistema de sensorización, tiene las características de la sembradora mostrada en la Figura 1, esta se puede incorporar a un sistema de arrastre con enganche en 3 puntos para tractor tipo II; el sistema de sensores propuesto se muestra en la Figura 7.

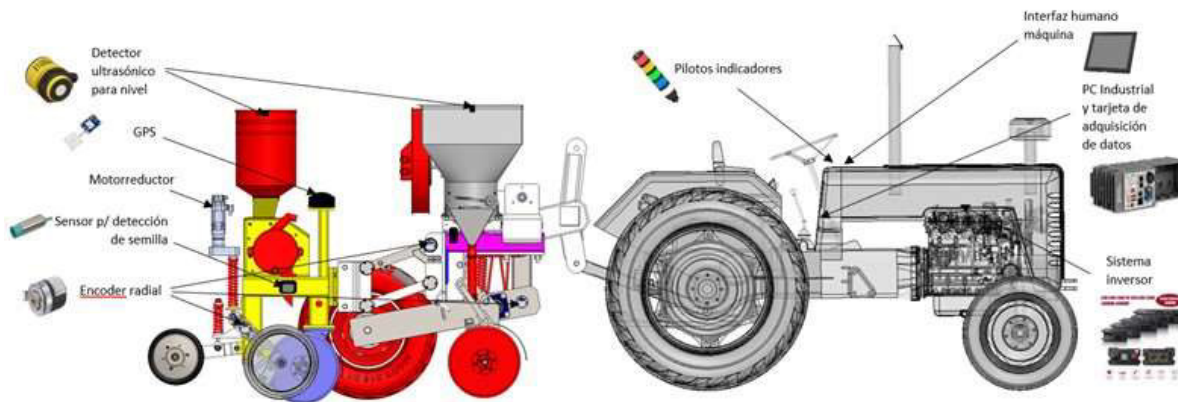


Figura 7. Sensorización para detección de variables de proceso

Para el monitoreo de los parámetros de siembra, se consideran sistemas de sensorización como se muestra enseguida (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de parámetros de siembra

No.	Parámetro	Monitoreo	Ajuste
1	Profundidad de la semilla	- Encoder en rueda reguladora - Encoder para detección de posición de rueda reguladora - Encoder para detección de posición de rueda de carga - Celda de carga	Motorreductor
2	Separación entre semillas	- GPS - Sensor para paso de semilla	Tractorista
3	Niveles	- Detectores ultrasónicos en depósitos	Tractorista

b) Ingeniería Básica

Posteriormente, dentro de la etapa de Ingeniería básica se realizó la memoria de cálculo, selección de equipos y partes comerciales, además del modelado 3D; se revisaron condiciones que se tenían en la sembradora usada como base (Dobladeses); se identificó que para esta sembradora en particular el peso de ésta se encuentra aplicado en un perfil rectangular como se muestra en la Figura 4; para el



diseño de este estudio como punto de mejora se reemplazó por un mecanismo de cuatro barras para mantener el ensamble paralelo a la tierra en todo momento. Se consideraron tres encoders radiales para identificar la posición de los discos abridores y la rueda reguladora con relación a la altura de las ruedas de carga de todo el sistema de siembra, esto debido a que es la mejor referencia que tiene nuestro sistema para considerarse como origen, además se cuenta con la celda de carga para correlacionar la fuerza que se observa en los discos abridores por variaciones en el suelo. Como parte de la selección de los equipos comerciales, se calculó el grado la resolución necesaria para cada encoder mediante un estudio donde se relacionó la distancia lineal en altura contra cada ángulo de rotación, mediante el modelo 3D se logró identificar el rango de trabajo para cada encoder (Tabla 2).

Tabla 2. Rangos de trabajo de los encoders radiales

No.	Encoder	Rango de trabajo
1	Rueda reguladora	30 a 40° respecto a la horizontal
2	Mecanismo 4 barras	15 a 25° respecto a la horizontal
3	Rueda de carga	5 a 15° respecto a la horizontal

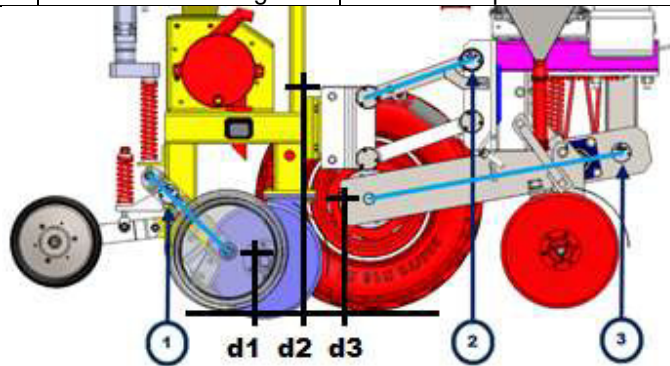


Figura 8. Ubicación de encoders radiales y su altura a monitorear

La tolerancia permisible que se puede considerar para la Región 16 que comprende los estados de Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas para la profundidad de la semilla es de ± 1.1 cm que equivale a la longitud promedio de una semilla de frijol de las variedades Flor de Mayo y Flor de Junio (Figura 9).



Figura 9. Medidas de semilla típica flor de mayo y flor de junio

A continuación, se muestra el esquema conceptual de diseño de control para la sensorización propuesta (Figura 10).

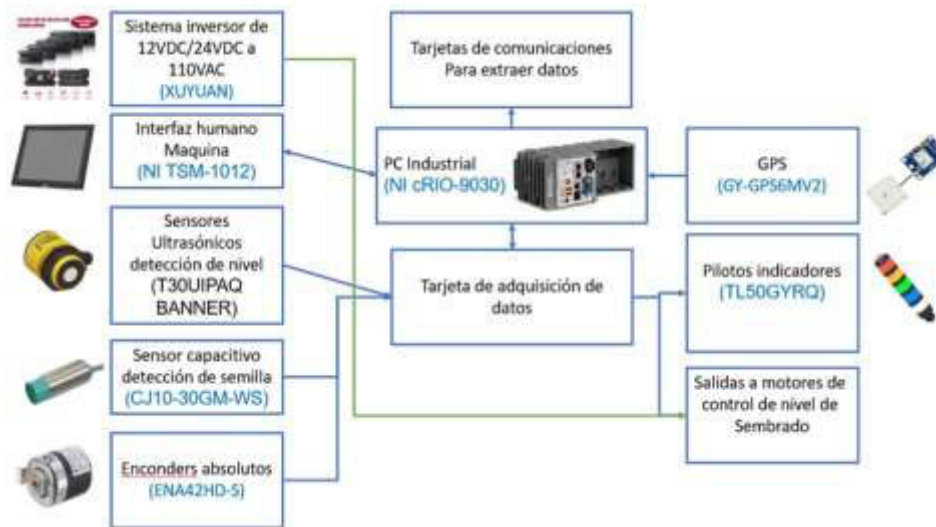


Figura 10. Concepto de control para la sensorización de la sembradora.

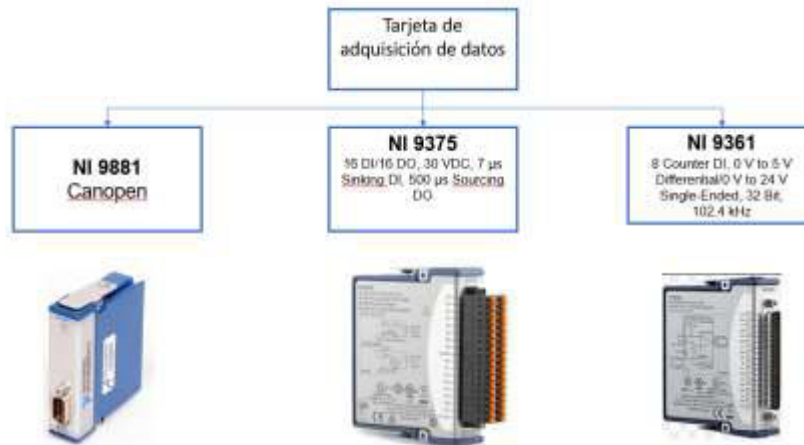


Figura 11. Protocolo de comunicación de datos

Consideraciones para la selección de encoder radial

Requisitos:

- Realizar la medición de posición de inserción de los discos de labranza y siembra a través de la medición indirecta con la utilización de encoders en los puntos de pivote claves.
- A prueba de vibraciones.
- Grado de protección IP67 mínimo.
- Voltaje de control 24 VDC.
- Mono-vuelta.
- Absoluto.

Especificaciones para la aplicación:

- Rotativo de tipo magnético. (Los ópticos pueden tener inconvenientes a largo plazo)
- Absoluto de una sola vuelta (La aplicación requiere un rango menor a una vuelta)
- Grado de protección IP67
- Construcción de acero inoxidable o aluminio, posible carcasa plástica que asegure cumplimiento IP67.
- La comunicación mediante protocolo CAN.



Planteamiento para el algoritmo de la profundidad de siembra

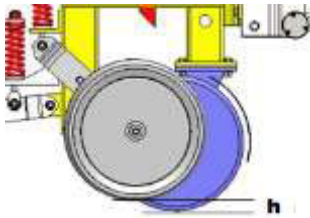


Figura 12. Identificación de profundidad de siembra respecto a rueda reguladora

C= Cuentas por revolución del encoder

Co = Cuenta encoder a ángulo 0

Ca= Cuentas actuales de encoder

∞= Ángulo Actual del encoder

$$\infty = \left(\frac{360}{C} \right) * (Ca - Co)$$

h = altura de sembrado

HA = Distancia entre el centro de la rueda y centro de encoder

$$h = \frac{(\cos^{-1} \infty)}{HA}$$

Costos preliminares del sistema de sensorización

Tabla 3. Costos preliminares del sistema prototipo de sensorización propuesto (MNX)

Equipo	Modelo	Cant.	P/U	Total
Pc Industrial	NI cRIO-9030	1	\$ 93,520.00	\$ 93,520.00
Interfaz de operación	NI TSM-1012	1	\$ 31,730.00	\$ 31,730.00
Sistema GPS	GY-GPS6MV2	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Encoder absoluto	ENA42HD-S	3	\$ 16,500.00	\$ 49,500.00
Tarjeta de adquisición de datos	NI 9881, NI 9375 y NI 9361	1	\$ 55,920.00	\$ 55,920.00
Sensore ultrasonicos	T30UIPAQ	2	\$ 7,800.00	\$ 15,600.00
Sensor capacitivo	CJ10-30GM-WS	1	\$ 3,670.00	\$ 3,670.00
Pilotos indicadores	TL50GYRQ	1	\$ 3,200.00	\$ 3,200.00
Sistema inversor	XUYUAN	1	\$ 1,700.00	\$ 1,700.00
			Gran Total	\$ 254,990.00

Los costos mostrados en la tabla anterior son para utilizarse en un prototipo inicial, una vez que se hayan realizado pruebas se validará la resolución y capacidades de los equipos con la finalidad de lograr una mayor eficiencia su selección, posteriormente también es factible considerar reducción de costos debidas a compras al mayoreo, el costo final será atractivo para el agricultor, es importante resaltar también que la capacidad de la PC, interfaz y la tarjeta de adquisición de datos pueden ser usadas para control de otros implementos, esto y la potencialización de sus máquinas sembradoras a través de la incorporación de esta tecnología puede representar un plus para el consumidor final.

Los equipos enlistados en la tabla 3 fueron considerados en marcas reconocidas y de fácil acceso para su refaccionamiento,

CONCLUSIONES

A través de este proyecto se da cumplimiento a puntos importantes en la agricultura nacional, esto contribuye a reducir problemas comunes que enfrentan los ejidatarios, primero el diseño robusto que se consideró en la sembradora y también el sistema de monitoreo de las variables en tiempo real, lo que significa una mayor eficiencia y productividad en los cultivos.

Las características consideradas en el diseño de la sembradora permiten la adaptación a los tipos de terreno que se tienen en esta región, el equipo facilita las labores de siembra; el diseño permite trabajar en suelos sin labranza.



El monitoreo de parámetros durante el proceso de siembra representa una ventaja importante, al realizarse la actividad de siembra sin retroalimentación en tiempo real se corre el riesgo de obtener cosechas muy diferentes a lo esperado; el monitoreo representa alertas al operador para corregir desviaciones durante el proceso y acorde al diseño planteado se cuenta con la retroalimentación para el caso de la variable de profundidad mediante el mismo control.

La posibilidad de adaptar este tipo de tecnologías a los equipos de siembra tradicional sin tecnificación es una ventaja importante que permite continuar usando los mismos equipos, pero con una mejora en sus capacidades técnicas.

LITERATURA CITADA

- Agritotal.com, The New Farm Company S.A., 2021, Argentina.
<https://www.agritotal.com/nota/lasperdidas-se-producen-en-la-siembra/>
- Aguirrezabal I. 2019. "Maquinaria agrícola en México" Fichas sector México.
Biblioteca Digital ILCE SEP, 1994, La agricultura en México, ISBN 968-29-6091-6
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/telesec/curso2/htmlb/sec_86.html#:~:text=La%20historia%20de%20la%20alimentaci%C3%B3n.que%20crec%C3%ADan%20en%20forma%20silvestre.
- Budynas R y Nisbett J. 2012, "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley". Novena Edición USA: Mc Graw Hill, 5ª ed. Pp 5-7
- Ciateq, 2020. OP-P-02 Proceso de realización de proyectos Rev. 31/Ago/2020 Metodología Interna para el desarrollo de proyectos CIATEQ, AC.
<http://portal.ciateq.mx/wiki/Paginas%20Wiki/OP-P.7-03.aspx>
- Conceicao L, ET AL 2016. A partial study of vertical distribution of conventional no-till seeders and spatial variability of seed depth placement of maize in the Alentejo region, Portugal; Springer Science+Business media Nueva York. Pp. 37-46
- Deere, J. Manual de Ventas. 2012.
http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en_NA/seeding/2012/feature/row_units_and_drill_open_er/planters/active_pneumatic_downforce.html PP 1-2
- Garduño, H. 2017 "Desarrollo de un sistema de siembra directa de maíz orientado a productores semi-mecanizados", Tesis de Maestría en manufactura avanzada, Ciateq, A.C. Pp. 21-23
- Garrido, M. 2010. "Estudio de la profundidad de siembra en siembra directa de maíz mediante la sensorización de un brazo de una sembradora mecánica monograno", Tesis de Maestría en Agroingeniería, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid. Pp 70-89
- Gutierrez-Rodríguez, F., Hernández-Ávila, J; Gonzalez-Huerta, A. 2018. Diagnóstico de tractores e implementos agrícolas en el Municipio de Atlacomulco, Edo Mex. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol. 9, Número 8.
- Grienpentrog H. W., Norremark, M, Nielsen H. Blackmore B.S. 2005, Seed Mapping of sugar beet; Springer Science + Business Media, Inc. Netherlands Pp. 157, 160.
- Homer I, Villa R. 2015 "Desarrollo y evaluación de una unidad sembradora de maíz (Zea mays L.) para tracción animal o humana, Agrosur Universidad de Chile. Pp 1, 2
- INEGI ((Encuesta Nacional Agropecuaria 2019) Secretaria de Agricultura y Desarrollo Agropecuario,
https://www.inegi.org.mx/temas/maquinaria/#Informacion_general
- Lara, M. 2015. El cultivo de frijol en México; Revista digital Universitaria Vol 16 Num 2ISSN 1607-6079
www.revista.unam.mx. Pp 4-5
- Márquez, L. SFP. Curso de maquinaria agrícola. España.
https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/04-1_2siembramonograno_tcm30-483061.pdf
- Palacios, M y Ocampo, J. Ledesma. 2012. Los tractores agrícolas de México. Universidad Autónoma Chapingo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol 3, Número. 4
- Negrete J.C. 2006. "Mecanización Agrícola en México "Primera Edición en español, México. Pp.57
- Negrete J.C., Lilles A., 2013. Parque de tractores agrícolas en México Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Universidad Autónoma de Puebla, Querétaro,
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000300011
- SolidWorks Corp., 2014. Dassault Systèmes. Solidworks 2014. s.l.



CONTENIDO DE AZADIRACTINA EN SEMILLAS DE NEEM (*Azadirachta indica*) COLECTADAS EN TABASCO, México

AZADIRACTIN CONTENT IN SEEDS OF NEEM (*Azadirachta indica*) COLLECTED IN TABASCO, MEXICO

¹Hernández Hernández KM, ²Hernández Becerra JA, ³García Galindo HS, ¹Corzo Sosa CA,
^{1*}Ochoa Flores AA.

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias. UJAT, 25 km carretera Villahermosa-Teapa, Villahermosa, Tabasco, México. ²División de Procesos Industriales, UTTab. 15 km carretera Villahermosa-Teapa, Villahermosa, Tabasco, México. ³UNIDA, Instituto Tecnológico de Veracruz, M.A. de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar, Veracruz, Veracruz, México.
Autor para correspondencia: angelica.ochoa@ujat.mx.

RESUMEN

Se evaluó el rendimiento en aceite y el contenido de azadiractina en el aceite extraído de las semillas de frutos de neem colectados en diferentes localidades de Tabasco, México. El aceite de neem se obtuvo por el método de extracción con solventes asistida por ultrasonificación; el rendimiento del aceite obtenido se determinó por peso, en balanza analítica y su contenido de azadiractina se determinó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en aceite, así como en el contenido de azadiractina del aceite extraído de semillas de frutos de neem colectados en las diferentes localidades del estado de Tabasco; siendo estas diferencias más grandes para el contenido de azadiractina en el aceite, que para el rendimiento en aceite extraído de las semillas. El rendimiento en aceite extraído mostró un valor medio de 44.30 ± 5.57 g por cada 100 g de semilla, con rendimientos mínimo y máximo de 33.59 y 53.39 g, respectivamente; mientras que el contenido medio de azadiractina en el aceite fue de 3.42 ± 2.33 mg por g de aceite, con un máximo de 7.13 mg y un mínimo de 0.57 mg de azadiractina por g de aceite de neem. El mayor rendimiento en aceite se obtuvo de los frutos de neem colectados en las instalaciones de la DACA-UJAT; mientras que la mayor concentración de azadiractina se encontró en los aceites extraídos de las semillas de los frutos de neem colectados en las instalaciones de la UTTab.

Palabras clave: *Neem, Azadiractina, Azadirachta indica, HPLC, Extracción asistida.*

INTRODUCCIÓN

El neem (*Azadirachta indica*) es una planta cuyo origen exacto es incierto, la mayoría de los autores coinciden en que es originario de zonas secas de la India y Birmania, ubicado en la región tropical del suroeste asiático (Pijoan, 2004). En la actualidad se encuentra distribuido en más de 78 países, en los continentes asiático y africano, en Oceanía, centro y sur de América; se estima que en el mundo existen 200 millones de árboles que crecen bajo cultivo y muchos más de forma silvestre (Ogbuewu *et al.*, 2011).

El neem pertenece a la familia Meliaceae, familia ampliamente distribuida en los trópicos y subtropicos, que incluye a 51 géneros con aproximadamente 575 especies. Estos árboles son generalmente de madera dura y colorida, hojas persistentes o deciduas, flores bisexuales y/o unisexuales, con números cromosómicos de $2n = 16$; sus flores son blancas y sus frutos amarillos, muy utilizado en la medicina tradicional en muchos países debido a su propiedades curativas y beneficios a la salud ampliamente documentados (Cruz y del Ángel, 2004).

En la india se ha utilizado por mucho tiempo para reducir la glucosa en sangre, al incrementar la secreción de insulina, lo que permite la mayor entrada y utilización de la glucosa por las células. Incrementa el número de leucocitos y activa las células NK, del sistema inmune, para la defensa del organismo, siendo un buen remedio para el resfriado; aumenta la capacidad del organismo para eliminar virus y bacterias que provocan diversas enfermedades (Navarrete *et al.*, 2017; Pijoan, 2004). El aceite de neem, obtenido de sus semillas, está compuesto principalmente de glicéridos, de olor parecido al del



ajo, contiene más de 50 tetranortriteronoides, de los cuales la azadiractina, es su componente insecticida más potente (Arias *et al.*, 2009).

Ha sido reportado que el contenido de azadiractina en semillas obtenidas de árboles de neem en diferentes partes del mundo e incluso en diferentes regiones de un mismo país es variable (Angulo-Escalante *et al.*, 2004). Algunos autores sugieren que estas diferencias se deben a condiciones ambientales locales como humedad relativa, precipitación o temperatura (Kumar y Parmar, 1997). Sin embargo, otros investigadores indican que árboles cultivados bajo las mismas condiciones de suelo y clima, presentan diferencias significativas en su capacidad de producción de azadiractina, por lo que sugieren que la diversidad genética es determinante para la producción de azadiractina y no los factores ambientales (Sidhu *et al.*, 2003). Debido a que la azadiractina es el componente activo del neem que se utiliza para determinar la calidad de su aceite, es importante su determinación en las plantaciones localizadas en diferentes regiones del estado de Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta y preparación de las semillas de neem. Las semillas de neem (*Azadirachta indica*) se obtuvieron de los frutos de árboles localizados en 12 diferentes localidades del estado de Tabasco (Tabla 1). Los frutos fueron colectados en agosto de 2018. Se muestrearon árboles en Ocuilzapotlán, Fraccionamientos Las Rosas, Lagunas e Indeco, en las márgenes de la Laguna de las ilusiones, en La Huasteca, en las instalaciones del Colegio Arjí, Plaza Altabriza, Colegio Tabasco, Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB), División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) y División Académica de Ciencias Básicas (DACB) de la UJAT (Figura 1). Se colectó un kilogramo y medio de fruto maduro, de color amarillo, de las ramas de los árboles seleccionados en cada localidad. En el laboratorio, los frutos frescos maduros fueron lavados manualmente, se les eliminó la cáscara y la pulpa, para obtener las semillas; las semillas se lavaron manualmente y se secaron bajo sombra a temperatura ambiente; después se les eliminó también de forma manual la cascarilla o testa. Las semillas sin testas fueron almacenadas a 8 °C hasta su uso.

Tabla 1. Localización en el estado de Tabasco, de los árboles de neem utilizados para el muestreo de semillas analizadas en este estudio.

Localidad	Ubicación*			Número de identificación en la Figura 1
	Latitud	Longitud	Altitud (m)	
Ocuilzapotlán	18.131014	-92.865052	5	1
Las Rosas	18.122167	-92.863216	6	2
DACB UJAT	18.074485	-93.171648	15	3
Lagunas	18.033865	-92.898869	7	4
Indeco	18.021812	-92.898291	7	5
Laguna ilusiones	17.996358	-92.938048	17	6
Colegio Arjí	17.969003	-92.94873	17	7
Plaza Altabriza	17.966025	-92.940319	17	8
Colegio Tabasco	17.948722	-92.960738	9	9
UTTAB	17.884951	-92.92800	9	10
La Huasteca	17.792701	-92.939483	14	11
DACA UJAT	17.785946	-92.955521	11	12

*Fuente: <https://www.coordenadas-gps.com/>

Obtención del aceite de neem. El aceite se obtuvo por el método de extracción con solventes asistida por ultrasonificación, empleando para ello un equipo ultrasónico de la marca Cole-parmer, modelo cpx-956-217r, así como acetona grado reactivo como solvente de extracción. Las semillas sin testa se sometieron a una molienda en mortero con pistilo y las semillas molidas se colocaron en un matraz de



Erlenmeyer de 250 mL con tapón de rosca para llevar a cabo la extracción del aceite. Para la extracción se utilizó una relación de semilla:solvente de 1:10 (p:v), una temperatura de 30 °C y un tiempo de ultrasonificación de 30 minutos. La mezcla de extracción (aceite de neem:solvente) se separó de las semillas por filtración sobre papel Whatman 1; después se hizo pasar sobre sulfato de sodio anhidro grado analítico para eliminar la humedad; finalmente, el aceite de neem se separó del solvente con ayuda de un rotaevaporador y se almacenó a 8 °C.

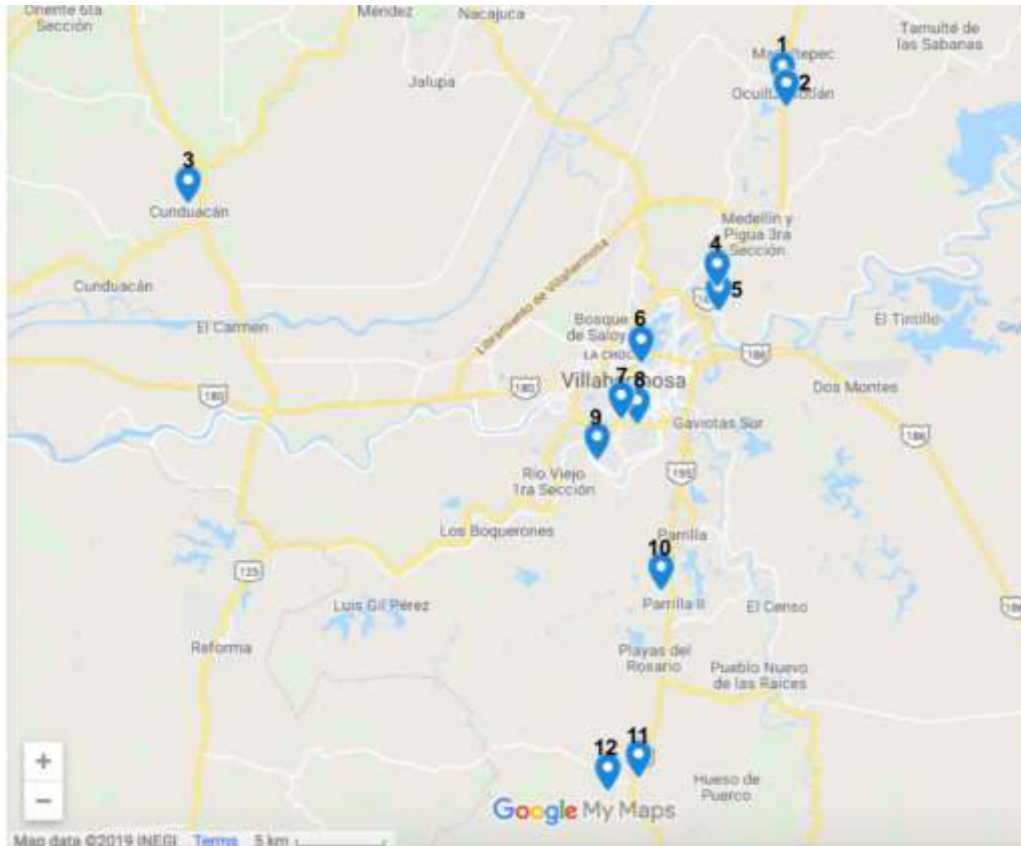


Figura 1. Sitios de muestreo de semillas de árboles de neem en el estado de Tabasco, utilizados en este estudio.

Determinación del rendimiento en aceite. Se determinó el rendimiento en aceite, en g por cada 100 g de semillas del árbol de neem, para cada una de las diferentes localidades. Una vez separado de los restos del material extraído y del solvente utilizado para su extracción, el aceite fue pesado en una balanza analítica. El rendimiento en aceite (RA) de la cantidad de aceite obtenido (WA; g) para la cantidad de semilla procesada (WS; g) se calculó, de acuerdo con Esparza-Díaz *et al.* (2010), con la ecuación: $RA = (WA \times 100 / WS)$.

Preparación del aceite de neem para la cuantificación de azadiractina. El aceite se sometió a una limpieza con diclorometano, de acuerdo con la metodología descrita por Schaaf *et al.* (2000). A 3 g de aceite se adicionan 3 mL de agua, se agita y adicionan entonces 6 mL de diclorometano, la mezcla se agita por 45 min y después de reposo, se recupera la fase orgánica. La fase acuosa se lava 2 veces más con diclorometano. Las tres fases orgánicas se mezclan y se hacen pasar por sulfato de sodio anhidro. El diclorometano se recupera con ayuda de un rotaevaporador y el aceite se almacena a 8 °C hasta su análisis.

Cuantificación de azadiractina en el aceite. La concentración de azadiractina en el aceite extraído de las semillas de árboles de neem, para cada una de las diferentes localidades evaluadas, se determinó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), de acuerdo con la metodología descrita por Kaushik (2002). Se utilizó un cromatógrafo de líquidos de alta resolución equipado con un automuestreador



Waters717plus, una bomba cuaternaria HPLC Waters 600, un detector UV-Visible Waters 2487 y una columna polimérica de fase reversa Hamilton PRP-1 de 250 x 4.1 mm, empacada con una resina de tamaño de partícula de 10 μm y tamaño de poro de 100 \AA . La fase móvil consistió en agua-acetonitrilo (60:40) a un flujo isocrático de 1 mL/min por 50 min. La detección de azadiractina se llevó a cabo por absorbancia UV, a una longitud de onda de 217 nm, utilizando un estándar certificado de Sigma-Aldrich (St. Louis MS.) con pureza de 95 %. El pico correspondiente a la azadiractina se detectó a los 7.2 minutos.

Diseño experimental y análisis estadístico. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar para determinar el efecto de la localización de los árboles de neem muestreados en el estado de Tabasco, sobre el rendimiento en aceite de neem extraído a partir de las semillas de sus frutos, en g por cada 100 g de semilla sin testa, g por cada 100 g de semilla con testa y g por cada 100 g de fruto; así como sobre el contenido de azadiractina en el aceite de neem extraído a partir de las semillas de sus frutos, en mg por g de aceite, mg por g de semilla sin testa, mg por g de semilla con testa y mg por g de fruto. Los resultados obtenidos se analizaron por medio de un análisis de varianza, con posterior análisis de comparación de medias. Se empleó para ello una prueba de Tukey a una $P < 0.05$. El paquete estadístico utilizado fue STATISTICA V. 6.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento en semillas obtenido para los frutos colectados de los árboles de neem localizados en las 12 diferentes localidades muestreadas en el estado de Tabasco se muestran en la Figura 2. Para las semillas con testa se obtuvo un rendimiento promedio de 13.84 ± 2.11 g de semilla por cada 100 g de fruto, con rendimientos desde 11.08 g de semilla para los frutos que fueron colectados en las instalaciones de la División Académica de Ciencias Básicas de la UJAT (DACB UJAT), hasta un máximo de 17.50 g para los frutos colectados en la localidad de Ocuitzapotlán. Para las semillas sin testa, el rendimiento fue de 8.4 ± 1.07 g de semilla por cada 100 g de fruto, en promedio; obteniéndose el rendimiento máximo en semilla (10.66 g) para los frutos colectados en la localidad de La Huasteca, mientras que el menor rendimiento (6.80 g) se obtuvo para los frutos colectados en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB).

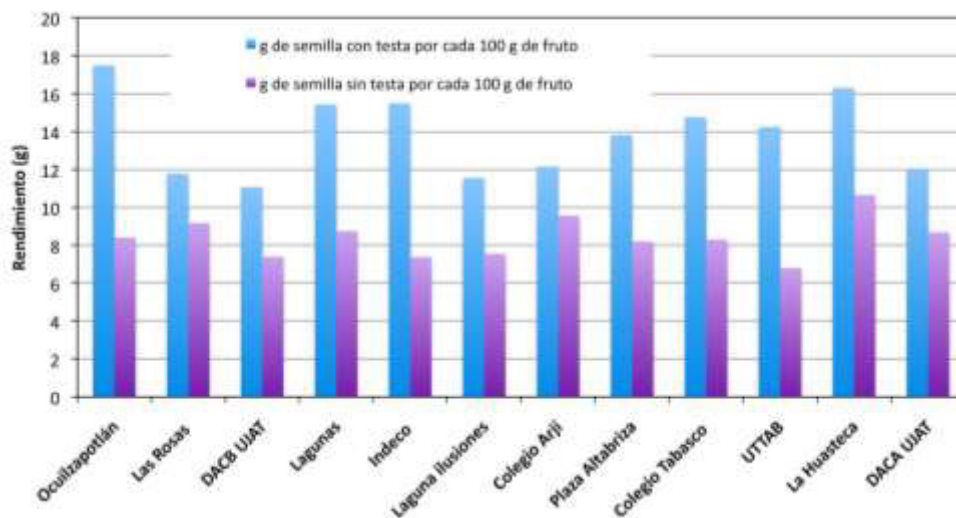


Figura 2. Rendimiento en semilla, con testa y sin testa, para los frutos colectados de árboles de neem localizados en las 12 localidades muestreadas en el estado de Tabasco.

En la Figura 3 se muestra el rendimiento en semilla sin testa por cada 100 g de semilla, para los frutos colectados de árboles de neem localizados en cada una de las 12 localidades muestreadas. El valor medio para esta variable fue de 61.84 ± 11.10 g de semilla sin testa por cada 100g de semilla; obteniéndose desde 21.30 g de testa por cada 100 g de semilla, hasta 52.23 g, para los frutos colectados en las instalaciones del Colegio Arjí y de la UTTAB, respectivamente.

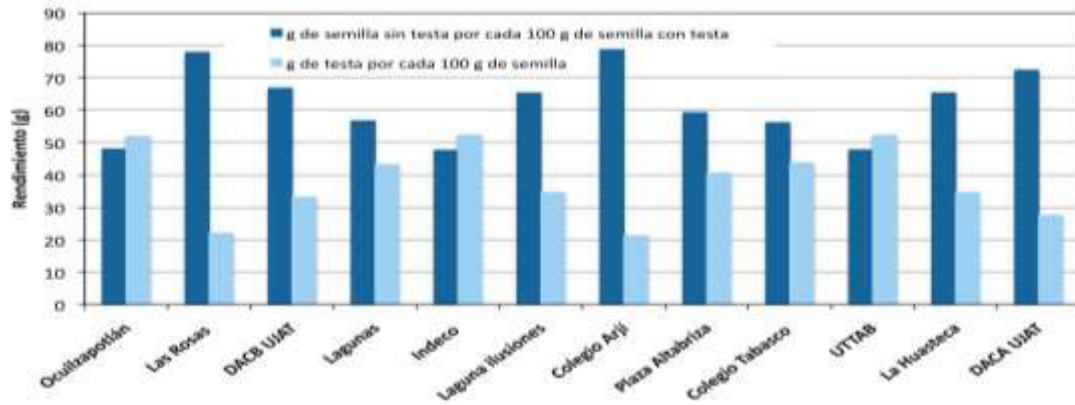


Figura 3. Rendimiento en semilla sin testa por cada 100 g de semilla, para los frutos colectados de árboles de neem localizados en las 12 localidades muestreadas en el estado de Tabasco.

El rendimiento en aceite de neem, en g por cada 100 g de semilla sin testa, g por cada 100 g de semilla con testa, así como en g por cada 100 g de fruto, para los árboles muestreados en cada una de las diferentes localidades se muestra en la Figura 4. En relación con el rendimiento en aceite para la semilla sin testa, se obtuvo un rendimiento promedio de 44.30 ± 5.57 g por cada 100 g de semilla. Con un rendimiento mínimo de 33.59 g de aceite por cada 100 g de semilla sin testa, para los frutos colectados en el Fraccionamiento Lagunas, y un máximo de 53.39 g de aceite por cada 100 g de semilla sin testa, para los frutos colectados en las instalaciones de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la UJAT (DACA UJAT).

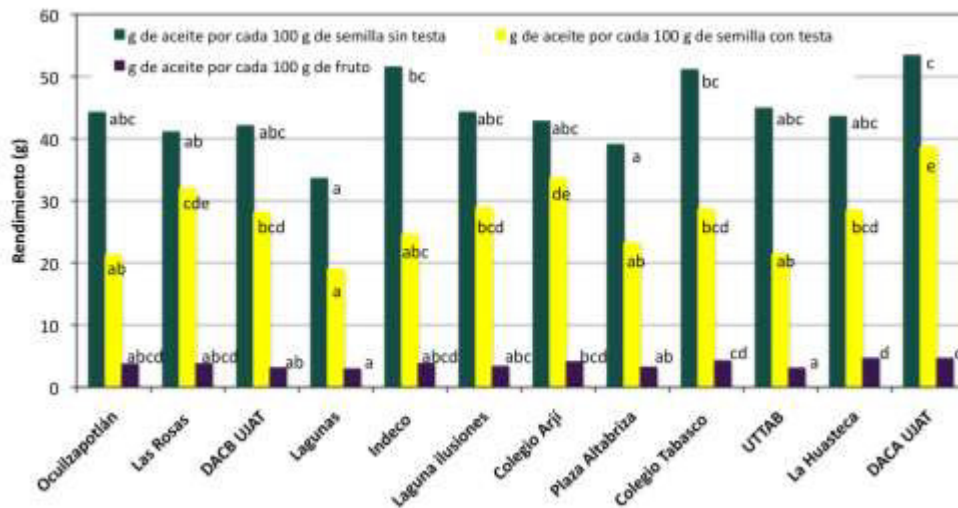


Figura 4. Rendimiento en aceite, en g por cada 100 g de semilla o fruto, de los árboles de neem muestreados en 12 localidades del estado de Tabasco. Para las barras del mismo color, letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El rendimiento en aceite para la semilla con testa, mostró un valor medio de 27.33 ± 5.73 g por cada 100 g de semilla; con rendimientos, mínimo y máximo, de 19.06 y 38.63 g de aceite por cada 100 g de

semilla, también para los frutos colectados en el Fraccionamiento Lagunas y en las instalaciones de la DACA UJAT, respectivamente. Estos resultados están en concordancia con los resultados publicados por Estrada-Ortiz *et al.* (2005), quienes reportan rendimientos que van desde un 28.9 %, hasta un 39.2 %; indicando además que estas variaciones pueden ser debidas a una reducción del agua intrínseca de la almendra, durante su almacenamiento. Por su parte, Arias *et al.* (2009), reportan un rendimiento en aceite de las semillas de neem de 38.00 ± 0.01 %. En lo que se refiere al rendimiento en g de aceite de neem por cada 100 g de fruto, éste fue en promedio de 3.71 ± 0.60 g de aceite por cada 100 g; también para esta variable obtenida, los valores mínimo (2.94) y máximo (4.64) fueron para los frutos colectados en el Fraccionamiento Lagunas y en las instalaciones de la DACA UJAT, respectivamente.

Los resultados obtenidos para el contenido de azadiractina en el aceite de neem extraído a partir de las semillas sin testa, en mg por g de aceite, así como en mg por g de semilla, para cada una de las 12 localidades evaluadas se muestran en la Figura 5. En ésta se observa que las semillas de los frutos colectados en las instalaciones de la UTTAB, presentaron el mayor contenido de azadiractina por gramo de aceite (7.13 mg), así también como por gramo de semilla sin testa (3.20 mg); así mismo, en esta Figura se observa que el menor contenido de azadiractina por gramo de aceite (0.57 mg) y por g de semilla sin testa (0.24 mg), corresponden a los frutos colectados en las instalaciones de la DACB UJAT. El contenido medio de azadiractina en el aceite de neem extraído a partir de las semillas sin testa, en Tabasco, en mg por g de aceite, fue de 3.42 ± 2.33 mg; mientras tanto, el contenido medio de azadiractina, en mg por g de semilla sin testa, fue de 1.51 ± 1.05 mg por g de semilla. Estos resultados concuerdan también con los obtenidos por Angulo-Escalante *et al.* (2004), Arias *et al.* (2009), Esparza-Díaz *et al.* (2010), así como por Orozco-Sánchez y Rodríguez-Monroy (2007); quienes reportan valores de 2.0 a 4.21, 1.13, 0.2 a 3.8 y de 0.21 a 5.13 mg por g de semilla, respectivamente.

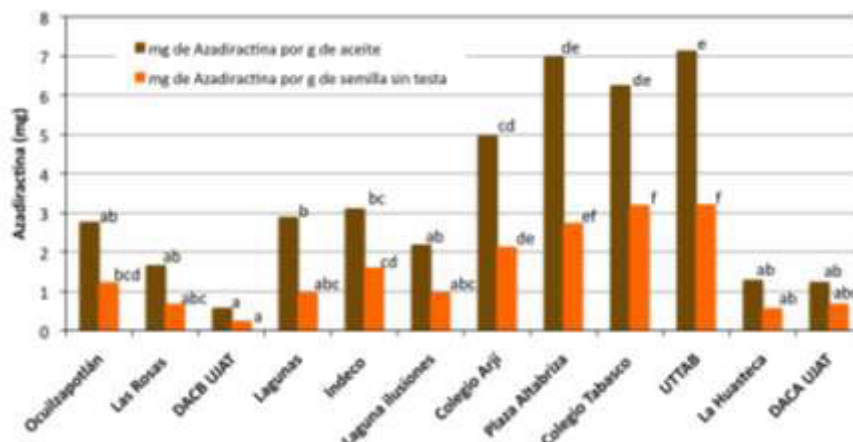


Figura 5. Contenido de azadiractina en el aceite de neem extraído a partir de las semillas sin testa, de los árboles de neem muestreados en el estado de Tabasco. Para las barras del mismo color, letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

En la Figura 6 se muestra el contenido de azadiractina en mg por g de semilla con testa y en mg por g de fruto, para las 12 localidades muestreadas en el estado de Tabasco, en este estudio. Para estas dos variables de respuesta, se observa que los frutos colectados en las instalaciones del Colegio Tabasco presentaron el mayor contenido de azadiractina, en mg por gramo de semilla con testa (1.79 mg), así como por gramo de fruto (0.20 mg); mientras que, el menor contenido de azadiractina por gramo de semilla con testa (0.16 mg), así como por g de fruto (0.02 mg), corresponden también, como lo fue para el menor contenido de azadiractina por gramo de aceite y por g de semilla sin testa, a los frutos colectados en las instalaciones de la DACB UJAT.

Al evaluar el efecto de la localización de los árboles de neem muestreados en el estado de Tabasco, sobre el rendimiento en aceite de neem extraído a partir de las semillas de sus frutos, en g por cada 100 g de semilla sin testa, g por cada 100 g de semilla con testa y g por cada 100 g de fruto; así como sobre el contenido de azadiractina en el aceite de neem extraído a partir de las semillas de sus frutos,



en mg por g de aceite, mg por g de semilla sin testa, mg por g de semilla con testa y mg por g de fruto; se observa un efecto significativo de la localización de los árboles de neem, sobre las siete variables de respuesta analizadas (Tabla 2).

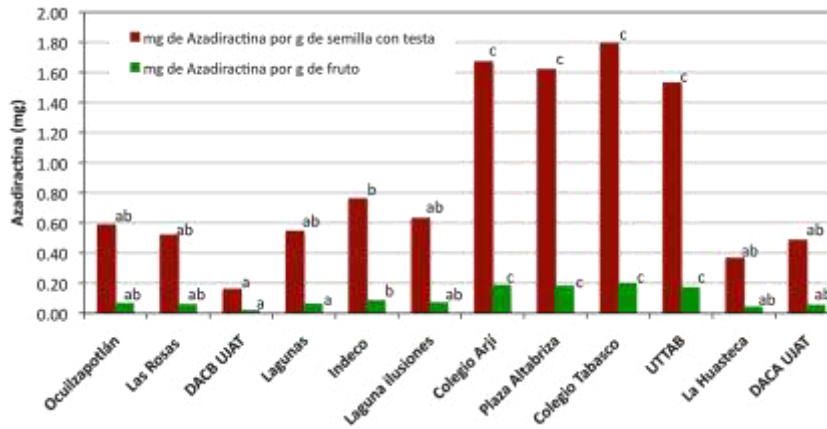


Figura 6. Contenido de azadiractina en las semillas y en los frutos de los árboles de neem muestreados en 12 localidades del estado de Tabasco. Para las barras del mismo color, letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Podemos decir entonces que si existen diferencias en el rendimiento en aceite, así como en el contenido de azadiractina en el aceite extraído a partir de las semillas de los frutos de neem colectados de árboles localizados en diferentes zonas del estado de Tabasco; encontrándose un mayor efecto significativo para el contenido de azadiractina en el aceite extraído a partir de las semillas de los frutos de neem, que para el rendimiento en aceite, entre las 12 diferentes localidades muestreadas (Ver Tabla 2).

En concordancia con estos resultados, Elteraifi y Hassanali (2011) evaluaron el contenido de azadiractina en el aceite extraído de las semillas de diez ecotipos de neem en Sudán, en diferentes condiciones agroecológicas; encontrando diferencias significativas en el contenido de Azadiractina de los aceites provenientes de árboles de neem de las diferentes localidades, dependiendo del clima, la lluvia, el tipo de suelo, la latitud y la altitud. Sin embargo, no encontraron diferencias en el contenido de aceite de las semillas de los frutos de los árboles, entre estas regiones. Estos autores concluyen que los árboles que crecen en altitudes más bajas, presentan muy bajo contenido de azadiractina, mientras que los que crecen en altitudes mayores a 470 m sobre el nivel del mar, presentan un mayor contenido de azadiractina; que la lluvia es el principal factor, que afecta positivamente el contenido de azadiractina en el aceite; que la combinación de temperatura y lluvia presentan una correlación positiva sobre el contenido de azadiractina en las semillas; y que la latitud y la altitud tienen un efecto directo sobre el nivel azadiractina.

Gruber (1991), estudió también el contenido de azadiractina en árboles de cinco localidades distintas en Nicaragua, durante un período de 4 años; encontrando una gran influencia de los factores climáticos y edáficos en la síntesis y degradación de azadiractina. Ermel (1995), analizó diferentes muestras de árboles de neem de diferentes partes del mundo, observando grandes variaciones entre las diferentes localidades; como en nuestra investigación, también encontró que las variaciones en el contenido de aceite eran menores que las observadas para el contenido de azadiractina.

Por su parte Kumar y Parmar (1997), al igual que Rengasamy y Parmar (1995), establecen variaciones en el contenido de azadiractina entre diferentes ecotipos, crecidos en las mismas regiones de la India, e incluso entre árboles del mismo ecotipo, crecidos en la misma localidad.



Tabla 2. Análisis de Varianza que describe el efecto de la localización de los árboles de neem muestreados en el estado de Tabasco, sobre las variables de respuesta analizadas.

Variables de respuesta	Grados de libertad debidos al factor	Suma de cuadrados debida al factor	Cuadrado medio debido al factor	Grados de libertad debidos al error	Suma de cuadrados debida al error	Cuadrado medio debido al error	F	P*
g aceite por cada 100 g de semilla sin testa	11	1025.2	93.20	24	389.4	16.22	5.745	1.74e-4
g de aceite por cada 100 g de semilla con testa	11	1083.2	98.47	24	201.8	8.41	11.71	3.81e-7
g de aceite por cada 100 g de fruto	11	11.822	1.0747	24	2.979	0.1241	8.658	6.01e-6
mg de AZA por g de aceite	11	179.19	16.290	24	11.62	0.484	33.65	6.84e-12
mg de AZA por g de semilla sin testa	11	36.51	3.319	24	2.55	0.106	31.29	1.52e-11
mg de AZA por g de semilla con testa	11	11.306	1.0278	24	0.807	0.0336	30.58	1.96e-11
mg de AZA por g de fruto	11	0.13855	0.012595	24	0.00989	0.000412	30.58	1.96e-11

*El valor de P es significativo si es ≤ 0.05 . AZA = Azadiractina.

CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en aceite, así como en el contenido de azadiractina en el aceite extraído a partir de las semillas de los frutos de neem colectados de árboles localizados en diferentes localidades del estado de Tabasco; encontrándose mayores diferencias para el contenido de azadiractina en el aceite extraído a partir de las semillas de los frutos de neem, que para el rendimiento en aceite, entre las diferentes localidades evaluadas. El mayor rendimiento en aceite de neem se obtuvo de las semillas de los frutos colectados de los árboles localizados en las instalaciones de la DACA UJAT; mientras que, la mayor concentración de azadiractina se encontró en los aceites extraídos de las semillas de los frutos colectados de los árboles localizados en las instalaciones de la UTTAB, Colegio Tabasco, Plaza Altabrisa y Colegio Arjí.

LITERATURA CITADA

- Angulo-Escalante, M.A., Gardea-Béjar, A.A., Vélez de la Rocha, R., García-Estrada, R.S., Carrillo-Fasio, A., Cháidez-Quiroz, C. y Partida-López, J.I. 2004. Contenido de azadiractina A en semillas de nim (*Azadirachta indica* A. JUSS) colectadas en Sinaloa, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 27: 305-311.
- Arias, D., Vázquez, G., Montañez, L., Álvarez, R. y Pérez, V. 2009. Determinación del azadiractina de los aceites esenciales del árbol de neem (*Azadirachta indica*). Revista Ingeniería UC. 16: 22-26.



- Cruz, F.M. y del Ángel, R. 2004. El árbol de nim, establecimiento y aprovechamiento en la Huasteca Potosina. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Huichihuayan y Campo Experimental Ébano. Folleto Técnico Número 3. San Luis Potosí, México.
- Dai, J., Yaylayan, V.A., Raghavan, G.S. y Parè, J.R. 1999. Extraction and colorimetric determination of azadirachtin-related limonoids in neem seed kernel. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47: 3738-3742.
- Ermel, K.S. 1995. Azadirachtin content of neem seed kernels from different regions of the world. In *The neem tree: Azadirachta indica* A. Juss and other meliaceae plants: sources of unique natural products for integrated pest management, medicine, industry and other purposes. Schmutterer, H. Ed. 89-92.
- Esparza-Díaz, G., López-Collado, J., Villanueva-Jiménez, J.A., Osorio-Acosta, F., Otero-Colina, G. y Camacho-Díaz, E. 2010. Azadirachtin concentration, insecticide efficacy and phytotoxicity of four neem *Azadirachta indica* A. JUSS extracts. *Agrociencia* 44: 821-833.
- Estrada-Ortíz, J., López-Díaz, M.A., Castillo-Rodríguez, B. y Díaz-Fish, V. 2005. Variación del peso de la semilla de nim y sus componentes durante su almacenamiento. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Uncuyo*. 37: 81-86.
- Elteraifi, I.E. y Hassanali, A. 2011. Oil and Azadirachtin contents of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) seed kernels collected from trees growing in different habitats in Sudan. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 5: 1063-1072.
- Gruber, A.K. 1991. Wachstum, Fruchtertrag und Azadirachtin Gehalt der Samen von *Azadirachta indica* A. Juss. auf verschiedenen Standorten in Nicaragua. Tesis Doctoral. Universidad Técnica de Berlín. Alemania. 158 p.
- Kaushik, N. 2002. Determination of azadirachtin and fatty acid methyl esters of *Azadirachta indica* seeds by HPLC and GLC. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 374: 1199-1204.
- Kumar, J. y Parmar, B.S. 1997. Neem oil content and its key chemical constituents in relation to agroecological factors and regions of India. *Pesticide Research Journal*. 9: 216-225.
- Navarrete, B., Valarezo, O., Cañarte, E. y Solórzano, R. 2017. Efecto del nim (*Azadirachta indica* Juss) sobre *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) y controladores biológicos en el cultivo del melón *Cucumis melo* L. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 25: 33-44.
- Ogbuwu, I.P., Odoemenam, V.U., Obikaonu, H.O., Opara, M.N., Emenalom, O.O., Uchegbu, M.C., Okoli, I.C., Esonu, B.O. y Iloeje, M.U. 2011. The growing importance of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) in agriculture, industry, medicine and environment: A review. *Research Journal of Medicinal Plants*. 5: 230-45.
- Orozco-Sánchez, F. y Rodríguez-Monroy, M. 2007. Cultivo de células en suspensión de *Azadirachta indica* para la producción de un bioinsecticida. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6: 251-258.
- Pijoan, M. 2004. El neem, la "farmacia de la aldea". *Etnofarmacología*. 23: 128-133.
- Pütz, J. 1996. *Neem, Indian's miraculous healing plant*. Healing Arts Press. Rochester, Vermont. 92 p.
- Rengasamy, S. y Parmar, B.S. 1995. Azadirachtin A content of seeds of neem ecotypes in relation to the agroecological regions of India. *Pesticide Research Journal*. 7: 140-148.
- Schaaf, O., Jarvis, A.P., Van der Eschb, S.A., Giagnacovo, G. y Oldham, N.J. 2000. Rapid and sensitive analysis of azadirachtin and related triterpenoids from Neem (*Azadirachta indica*) by high-performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 886: 89-97.
- Sidhu, O.P., Kumar, V. y Bel, H.M. 2003. Variability in neem (*Azadirachta indica*) with respect azadirachtin content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 910-915.



MODELOS DE ALTURA DOMINANTE PARA *Pinus pseudostrabus* Lindl. EN OCAMPO, MICHOACÁN

DOMINANT HEIGHT MODELS FOR *Pinus pseudostrabus* Lindl. IN OCAMPO, MICHOACAN

¹Hernández-Martínez AJ, ²Hernández-Ramos J, ³Quiñonez-Barraza G, ⁴Sánchez-Concha R, ²García-Cuevas X, ⁵Velarde Ramírez JC.

¹Prestador Independiente de Servicios Profesionales Forestales. Ocampo, Michoacán, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Chetumal. Chetumal, Quintana Roo, México. ³INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Durango, México. ⁴Asesoría y Servicio Ambientales y Forestales S.A. de C.V., Uruapan, Michoacán, México. ⁵Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán.
Autor para correspondencia: ajhmtz@gmail.com

RESUMEN

Curvas de índice de sitio fueron construidas para la especie de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en rodales naturales del Ejido El Paso, Ocampo, Michoacán, México. Los datos se recolectaron por medio de análisis troncales. La muestra fue de 679 pares de datos de altura dominante-edad, provenientes de 37 árboles distribuidos en el área de estudio. La técnica de Diferencia Algebraica fue usada para ajustar los modelos de Levakovic II, Hossfeld IV y Chapman-Richards. Para generar las curvas polimórficas, de las ecuaciones se despejó el parámetro específico del sitio β_1 y la expresión se sustituyó en la ecuación base. Los modelos fueron evaluados mediante los estadísticos de bondad de ajuste de suma de cuadrados del error (SCE), raíz del cuadrado medio del error (RCME), coeficiente de determinación ajustada (R^2_{ajus}) y criterio de información de Akaike (AIC), mientras que, la precisión fue evaluada a través del sesgo promedio absoluto (E). El modelo de Chapman-Richards mostró los mejores estadísticos de bondad de ajuste y fue utilizado para construir las curvas de índice de sitio de tipo polimórficas a una edad base de 50 años. Las tendencias de las curvas de índice de sitio (15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m y 40 m) cubrieron la mayor parte de las trayectorias individuales del crecimiento en altura de los árboles evaluados.

Palabras clave: *diferencia algebraica, índice de sitio, productividad forestal.*

INTRODUCCIÓN

La proyección de crecimiento, rendimiento de los rodales y la productividad del sitio son caracterizadas mediante evaluaciones de la altura dominante o el establecimiento de clases de índice de sitio (IS) (Diéguez-Aranda *et al.*, 2005). A través de los modelos de crecimiento se puede determinar el potencial de crecimiento de las masas forestales por medio de la altura dominante en una determinada edad de referencia (García-Espinoza *et al.*, 2019). La construcción de curvas de IS permite clasificar de forma práctica la productividad forestal de varios rodales (Clutter *et al.*, 1983).

En la literatura forestal existen tres métodos que han sido ampliamente estudiados y aplicados en los modelos de crecimiento para generar curvas de IS (Burkhart y Tomé, 2012). Uno de ellos es el método de diferencia algebraica (ADA por sus siglas en inglés), el cual consiste en predecir la altura dominante en el tiempo E_2 a partir de la altura dominante en el tiempo E_1 , posteriormente en seleccionar y despejar un parámetro de la ecuación para ser sustituido en la ecuación base y finalmente contar con una función que genere curvas de IS de tipo anamórficas o polimórficas (Bailey y Clutter, 1974). La mayoría de los modelos resultantes con ADA son de tipo anamórfica (Vargas-Larreta *et al.*, 2013), sin embargo, aquellos modelos de tipo polimórfica pueden reemplazarlos para generar diferentes formas de patrones de crecimiento en distintos sitios (Clutter *et al.*, 1983). El objetivo de este estudio fue ajustar modelos de crecimiento para proyectar los patrones de crecimiento de altura dominante para *Pinus pseudostrabus* Lindl. y definir curvas polimórficas de índice de sitio a partir de modelos ADA.



MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en bosques del ejido El Paso, Ocampo, Michoacán, México, ubicado dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. Las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Abies religiosa* Kunth Schltl. et. Cham. son dominantes en los rodales del área de estudio. La información dasométrica se obtuvo a través de análisis troncales de 37 árboles dominantes de *P. pseudostrobus*. En total se obtuvieron 679 pares de datos de altura dominante-edad, los cuales fueron usados para ajustar tres modelos de crecimiento con la técnica ADA, despejando el parámetro específico del sitio β_1 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Estructura de tres modelos de altura dominante con la técnica de diferencia algebraica.

Modelo	Ecuación base	Ecuación polimórfica (β_1)
(1) Levakovic II	$A_1 = \beta_0 \left(\frac{E_1}{\beta_1 + E_1} \right)^{\beta_2}$	$A_2 = \beta_0 \left[E_2 \left(\left(\frac{E_1}{\left(\frac{\ln\left(\frac{A_1}{\beta_0}\right)}{\beta_2} \right) - E_1}{\right)} + E_1 \right) \right]^{-1-\beta_2}$
(2) Hossfeld IV	$A_1 = \frac{\beta_0}{1 + e^{\beta_1 e^{-\beta_2 \ln(E_1)}}}$	$A_2 = \frac{\beta_0}{1 + e^{\ln\left(\frac{\beta_0 - A_1}{\frac{A_1}{e^{-\beta_2 \ln(E_1)}}}\right)} e^{-\beta_2 \ln(E_2)}}$
(3) Chapman-Richards	$A_1 = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 E_1})^{\beta_2}$	$A_2 = \beta_0 \left[1 - \left(1 - \left(\frac{A_1}{\beta_0} \right)^{\frac{1}{\beta_2}} \right)^{\frac{E_2}{E_1}} \right]^{\beta_2}$

A_1 y A_2 (m) = altura inicial y proyectada; E_1 y E_2 = edad inicial y futura; y β_i = parámetros a estimar.

Los modelos fueron evaluados con base en los siguientes estadísticos de bondad de ajuste: suma de cuadrados del error (SCE), raíz del cuadrado medio del error (RCME), coeficiente de determinación ajustada (R^2_{ajus}) y criterio de información de Akaike (AIC), mientras que el valor del sesgo absoluto promedio (E) se empleó para verificar las desviaciones en las estimaciones al aplicar el modelo seleccionado. El ajuste estadísticos de las estructuras ADA se realizaron con el software estadístico RStudio® (R Development Core Team, 2011); mediante la función “nls.LM” con el algoritmo de optimización “Levenberg-Marquardt” del paquete “minpack.lm” (Elzhov *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estimaciones de los parámetros de los tres modelos fueron significativamente diferentes de cero a un nivel de significancia del 1 % ($p < 0.0001$). Con relación al parámetro de la asíntota ($\hat{\beta}_0$) se encontró una variación de aproximadamente 10 m entre los modelos de Levakovic II y Chapman-Richards, en donde el primero mostró el valor más alto. De acuerdo con la evaluación estadística, el modelo de Chapman-Richards presentó los valores más bajos en la SCE, RCME, AIC y E, respecto a los otros dos modelos propuestos. Los tres modelos mostraron el mismo valor en la R^2_{ajus} y explicaron el 98.8 % de la varianza total

Cuadro 11



Cuadro 11. Parámetros y estadísticos de bondad de ajuste para tres modelos ADA de altura dominante-edad para *Pinus pseudostrabus* Lindl. en Ocampo, Michoacán, México.

Modelo	Parámetro	Estimador	EE	t	Pr (> t)	SCE	RCME	R ² _{aju}	AIC	E
(1)	$\hat{\beta}_0$	65.953	2.515	26.23	<0.0001	1261.6	1.402	0.988	437.7	0.698
	$\hat{\beta}_2$	1.329	0.075	17.82	<0.0001					
(2)	$\hat{\beta}_0$	57.61	2.267	25.42	<0.0001	1244.8	1.392	0.988	429.1	0.674
	$\hat{\beta}_2$	1.266	0.044	28.71	<0.0001					
(3)	$\hat{\beta}_0$	46.904	1.118	41.94	<0.0001	1238.0	1.389	0.988	425.6	0.666
	$\hat{\beta}_2$	1.225	0.051	24.12	<0.00001					

EE= error estándar; t = valor del estadístico de la *t-student*; Pr(>|t|) = nivel de probabilidad del valor de *t-student*; SCE = suma de cuadrados del error; RCME = raíz del cuadrado medio del error. R²_{aju} = coeficiente de determinación ajustada; y AIC = criterio de información de Akaike. E = sesgo absoluto promedio.

Las curvas de IS de los modelos propuestos, proyectaron tendencias similares en los primeros 40 años del crecimiento en altura a una edad base de 50 de años. Sin embargo, la limitación del crecimiento después del año 40 en sitios más productivos (IS = 40 m), fue más marcada en el modelo de Chapman-Richards respecto a los demás (Figura 9), lo cual se explica ya que su asíntota es menor. Éste último fue la mejor opción para clasificar las clases de calidad de sitio en los rodales de *Pinus pseudostrabus* del área de estudio, ya que estimó una asíntota más realista conforme a la mayor parte de los valores observados y estadísticos de ajuste más eficientes.

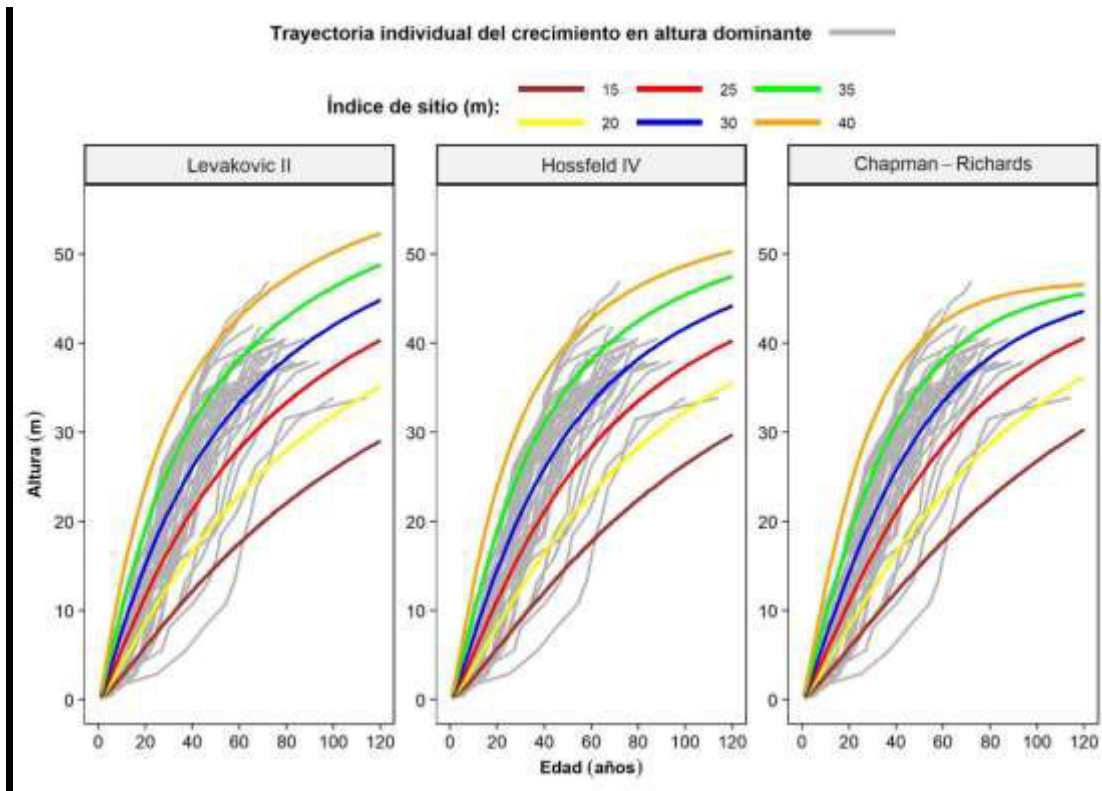


Figura 9. Familia de curvas de índice de sitio de tres modelos polimórficos para la especie de *Pinus pseudostrabus* Lindl.

En otros estudios, el modelo de Chapman-Richards expresado con el método de Diferencia Algebraica Generalizada se ha usado para construir las curvas de IS para *P. pseudostrabus*, i.e., en rodales naturales del estado de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas (Vargas-Larreta *et al.*, 2013) y en plantaciones forestales de Michoacán (García-Espinoza *et al.*, 2019). Así mismo, García-Espinoza *et al.* (2019) mencionan que el modelo polimórfico de Chapman-Richards es una alternativa viable para modelar adecuadamente el patrón de crecimiento de *P. pseudostrabus*, similar a los resultados obtenidos en esta investigación.

CONCLUSIONES

Los tres modelos propuestos en su formulación polimórfica bajo el enfoque ADA mostraron patrones adecuados respecto a las trayectorias individuales del crecimiento en altura dominante de los árboles evaluados. Las cinco curvas de índice de sitio cubrieron la distribución de las observaciones de *P. pseudostrabus*. El modelo de Chapman-Richards fue el más adecuado para proyectar el crecimiento en altura dominante y definir las curvas de índice de sitio en el Ejido de El Paso, Ocampo, Michoacán.

LITERATURA CITADA

- Bailey, R., and Clutter, J. (1974). Base-age invariant polymorphic site curves. *Forest Science*, 20(2), 155-159. <https://doi.org/10.1093/forestscience/20.2.155>
- Burkhart, H. E., and Tomé, M. (2012). *Modeling forest trees and stands*. Springer Science & Business Media. Dordrecht, Netherlands. 457 p.
- Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., & Bailey, R. L. (1983). *Timber management a quantitative approach*. John Wiley & Sons. New York, USA 333 p.
- Diéguez-Aranda, U., Burkhart, H. E., and Rodríguez-Soalleiro, R. (2005). Modeling dominant height growth of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) plantations in north-western Spain. *Forest Ecology and Management*, 215(1–3), 271–284. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.015>



-
- Elzhov, T., Mullen, K., Spiess, A., and Bolker, B. (2016). minpack.lm: Interface to the Levenberg-Marquardt nonlinear least-squares algorithm found in MINPACK, Plus Support for Bounds. In 2016-11-20.
- García-Espinoza, G. G., Aguirre-Calderón, O. A., Quiñonez-Barraza, G., Alanís-Rodríguez, E., González-Tagle, M. A., and García-Magaña, J. J. (2019). Global-local and fixed-random parameters to model dominant height growth of *Pinus pseudostrobus* Lindley. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(1), 141–156. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.047>
- R Development Core Team, R. (2011). R: A language and environment for statistical computing. In R Foundation for Statistical Computing. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74686-7>
- Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderón, O. A., Corral-Rivas, J. J., Crecente-Campo, F., and Diéguez-Aranda, U. (2013). A dominant height growth and site index model for *Pinus pseudostrobus* Lindl. In Northeastern Mexico. *Agrociencia*, 47(1), 91–106.



RELACION DEL PODER CALORÍFICO, LIGNINA Y EXTRACTOS DE *Pinus patula*

RELATIONSHIPS BETWEEN HEATING VALUE, LIGNIN AND EXTRACTIVES OF *Pinus patula*

¹*Apolinar Hidalgo F, ¹Honorato Salazar JA, ¹Colotl Hernández G.

¹Campo Experimental San Martinito, INIFAP. Tlahuapan, Puebla, C.P. 74100, México.

Autor para correspondencia: apolinar.flora@inifap.gob.mx

RESUMEN

Los pinos son uno de los recursos naturales más importantes para México, y la madera para aserrar es el producto más destaca. En el proceso de aserrío, del 40 al 50% de la madera en rollo es de aserrín y costras que pueden utilizarse para la producción de energía; sin embargo, se desconocen muchas de las propiedades químicas y energéticas de la madera de las especies de pino, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar el poder calorífico, lignina y contenido de extractivos en etanol-benceno y etanol de la madera de *Pinus patula* con el fin de conocer sus cualidades energéticas. Se colectaron muestras de seis árboles en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Las muestras fueron astilladas y molidas en un molino tipo Thomas Willey para posteriormente tamizarlas en mallas del número 40 (0.424 mm) y 60 (0.250 mm). El material retenido en la malla número 60 es el que se utilizó para los análisis de lignina y extractos, y la retenida en la malla número 40 para el análisis del poder calorífico. Se utilizaron las normas TAPPI (T204, T264 y T222), ASTM (E711) y el manual de procedimientos Parr (Parr, 1999). Se realizó un análisis de varianza, seguido de una comparación múltiple de medias con el procedimiento Tukey ($\alpha=0.05$), usando el programa estadístico (SAS, 2000). Los resultados del análisis indicaron diferencias significativas en el poder calorífico, lignina, extractivos y contenido de humedad. Los valores promedio para los 6 árboles de *Pinus patula* fueron de 17.05 a 19.09 MJ/kg para poder calorífico, de 25.58 a 31.81 % de lignina, de 1.73 a 3.66 % de extractos en etanol-benceno, de 0.14 a 0.41% de extractos en etanol y un contenido de humedad de 7.97 a 8.71 %. De acuerdo con los resultados de poder calorífico, lignina y extractos, la madera de *Pinus patula* presenta propiedades adecuadas para su uso energético.

Palabras clave: Poder calorífico, lignina, extractos, *Pinus*

INTRODUCCIÓN

La biomasa es una fuente primaria de alimentos, forrajes, fibras y fuente de energía renovable, en el año 2008 la biomasa proporcionó aproximadamente el 10.2% (50.3 EJ/ año) del suministro anual mundial total de energía primaria (TPES), a partir de una amplia variedad de fuentes de biomasa y en el año 2010 ascendió a 30.7 EJ/año, del cual el 80% de energía se derivó de árboles, ramas, arbustos, aclareos, de tala silvícolas, de residuos secundarios, como el aserrín y la corteza, estos subproductos forestales represento aproximadamente 20 EJ/año de energía y el resto procedía del sector agrícola. Según expertos para el año 2050 la biomasa tiene un potencial de suministrar un rango de energía de 100 a 300 EJ/año (IPCC, 2007). Las principales propiedades que afectan a la biomasa en la conversión en energía, son el contenido de humedad, cenizas, volátiles, la composición elemental, los componentes químicos (lignina, celulosa y hemicelulosa) y el poder calorífico (Oberberger *et al.*, 2006). El poder calorífico, es un factor muy importante para determinar cualquier material como combustible, los contenidos elementales de hidrogeno y carbono tienden a elevar el poder calorífico de la biomasa, así como los extractos y la lignina, y disminuye con el aumento del contenido de humedad y las cenizas de la madera (Demirbas, 2002). De acuerdo con Vignote y Martínez (2006), cuanto mayor sea el contenido en lignina mayor será el poder calorífico del biocombustible, esto se debe a que la lignina es rica en carbono (61-65%) e hidrógeno (5-6.2%), que son los principales elementos productores de calor. Por lo tanto, su valor calórico es mayor que la celulosa y la hemicelulosa (Huhtinen, 2006). El poder calorífico superior de la lignina es de 26.28 MJ/Kg; mientras que el de la celulosa con menos proporción de carbono (44 %) es de 17.37 MJ/Kg (Hernández, 2001). Las especies de pinos (madera blanda) generalmente tienen un mayor contenido de carbono y mayor poder calorífico que las especies latifoliadas (madera dura) debido a la presencia de más lignina y materiales resinosos



(Demirbas, 2003). A pesar de su importancia económica de la madera de *Pinus patula*, no se ha estudiado su potencial energético, debido a eso es importante conocer la relación de la lignina y los extractivos con el poder calorífico, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar el poder calorífico, lignina y contenido de extractivos en etanol-benceno y etanol de la madera de *Pinus patula* con el fin de poder conocer si hay una correlación entre estos parámetros.

MATERIALES Y METODOS

En este trabajo se analizaron 6 árboles de *Pinus patula*, provenientes de Ixtlan de Juárez, Oaxaca. Las muestras fueron procesadas en Laboratorio de Materiales Lignocelulósicos del Campo Experimental San Martinito que pertenece al INIFAP, de cada árbol se tomaron piezas que posteriormente fueron cepilladas en un canteador eléctrico Mizutti de dos cuchillas para obtener la viruta, la cual se secó a temperatura ambiente, posteriormente fueron molidos en un molino tipo Thomas Wiley. El material molido se tamizó en mallas del No. 40 (0.42 mm) y del No. 60 (0.25 mm), el material retenido en la malla 60 se utilizó para realizar las determinaciones de lignina y extractivos, y la retenida en la malla 40 se utilizó para la determinación del poder calorífico, se realizaron cuatro repeticiones por árbol. Para determinar los extractos se utilizó la norma 204 om-88 (TAPPI, 1991^a), que consistió en pesar 4 gramos de madera molida anhídrida en un dedal de extracción y se colocaron en el aparato de extracción automatizado con 100ml de solvente de etanol-benceno (1-2 v/v) y se le programo 35 ciclos, después se procedió a lavarlo a vacío con alcohol para quitarle los residuos de benceno, posteriormente se extrajo con etanol al 96% por 35 ciclos, posteriormente se lavó con agua, y finalmente se realizó una extracción con agua caliente, se transfirió la muestra en un matraz Erlenmeyer de 1000 ml donde se le adicionó 500 ml de agua caliente y se colocó en baño maría por 2 horas, posteriormente se volvió a lavar la muestra con 500 ml de agua caliente, con lo cual se finalizó el proceso de extracción y la muestra se dejó al aire libre para su secado. El contenido de extractos se calculó con la siguiente expresión:
$$\text{Extractos (\%)} = \frac{W_e - W_b}{W_p} * 100$$

Donde;

W_e= Peso anhídrido del extracto, g.

W_p=Peso anhídrido de la muestra, g.

W_b=Peso anhídrido del residuo en blanco, g

El contenido de lignina se determinó de acuerdo a la norma TAPPI 222 (TAPPI 1991 b), se pesó 1 gramo de muestra molida libre de extractos y se le adicionó 15 ml de ácido sulfúrico al 72% (24 N) con agitación constante en un baño María a 20°C durante dos horas, inmediatamente se transfirió a un matraz Erlenmeyer con 575 ml de agua destilada. Después, el matraz se conectó a un refrigerante y se mantuvo a ebullición durante 4 horas en una parrilla eléctrica dentro de una campana de extracción de vapores; posteriormente se dejó sedimentar el sólido en una posición inclinada durante 24 horas para su filtración, después la lignina se transfirió a un crisol Gooch y la lignina filtrada se lavó con 100 ml de agua destilada caliente para la eliminación del ácido residual, posteriormente se secó en una estufa a 105 °C durante 24 horas para su pesado. El contenido de lignina se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Lignina(\%)} = A \frac{100}{W}$$

Donde;

A= Peso anhídrido de la lignina, g.

W=Peso anhídrido de la muestra, g.

El poder calorífico se determinó en una bomba calorimétrica tipo isoperibol Parr 1266 de acuerdo con la norma ASTM (E711) y el manual de procedimientos Parr. Se elaboraron muestras comprimidas de madera molida no mayor a 1 gramo, se pesaron y se colocaron en una cápsula de combustión (al mismo tiempo se pesó una prueba de espécimen para determinar el contenido de humedad), la cápsula con la muestras comprimidas se colocaron en el electrodo del bucle de la tapa de la bomba de oxígeno. Se cortaron 10 cm de alambre de ignición y se ataron en los dos ojales de los electrodos haciendo una curva para que el alambre tocara la pastilla, después se le agregó oxígeno marcado automáticamente por el calorímetro, posteriormente la bomba se introdujo dentro del calorímetro a una temperatura de 30 ± 0.5 °C, se cerró el calorímetro y se introdujeron los datos del peso de las muestras en la pantalla del calorímetro y se procesó la muestras en un tiempo de ocho minutos y finalmente se anotaron los



resultados que marcó el calorímetro. Los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una comparación múltiple de medias con el procedimiento de Tukey ($\alpha = 0.05$) con el estadístico SAS y un análisis estadístico de R^2 .

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos mostraron que hay diferencias significativas en las determinaciones de poder calorífico, contenido de humedad, extractos en etanol-benceno, etanol y en lignina, En lo que respecta al poder calorífico se observó que los arboles 11 y 413 son los de mayor contenido de valor calorífico con 19.09 y 18.86 MJ/Kg respetivamente, también tienen mayor porcentaje de extractos en etanol-benceno con 3.66 y 3.26 % y lignina con 31.81 y 26.2% respectivamente, en extractos en alcohol el árbol 621 es el mayor porcentaje con 0.41% y el árbol 11 es el de menor contenido con 0.14%, en el contenido de humedad la de menor porcentaje es el árbol 621 con 7.97 %. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Poder calorífico, extractos y lignina de *Pinus patula*

Árbol	Poder calorífico (MJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Extractos etanol-benceno (%)	Extractos alcohol (%)	Extractos totales (%)	*Lignina (%)
11	19.09 a	8.71 a	3.66 a	0.14 c	3.81 a	31.81 a
25	17.81 b	8.50 bc	2.53 b	0.30 ab	2.84 b	27.83 b
39	17.40 b	8.39 c	1.76 c	0.30 ab	2.14 c	27.76 b
413	18.86 a	8.41 c	3.26 a	0.28 b	3.55 a	28.20 b
517	17.80 b	8.60 b	2.12 bc	0.36 ab	2.4b c	27.13 bc
621	17.05 b	7.97 d	1.73 c	0.41 a	2.16 c	25.58 c

* Con base al peso anhidro,

† Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Los valores de poder calorífico encontrados en este estudio es de 17.05 a 19.09 MJ/kg, estos valores son mayores a los reportado por Santos (2020) para *P. engelmannii carr* con 8.45 MJ/kg con un contenido de humedad de 11.20%, pero son similares a los reportados por Zeng *et al.*, (2014) para *P. Massoniana* con un valor de 21.28 MJ/kg, por Aniszewska y Prace (2014), para *P. sylvestris* de 18.4 a 19.70 MJ/kg, por Lima (2013) para *P.leiophylla P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *A. religiosa* con promedios de 18.22 a 19.19 MJ/kg y los reportados por Vignote y Martínez (2006) en base anhidrida de 18 a 20.72 MJ/kg.

Los porcentajes de los extractivos totales en este estudio fueron de 2.14 a 3.81 % , estos valores son menores a los reportados por Fonseca (2006), Lima (2013 y Bernabé *et al.*, (2013) para pinos de 6 a 12 %, 7.9 a 9.1%, 7.6 a 8.2 % respectivamente y en lo que respeta a lignina, Godoy *et al.*, (2007) Fonseca (2006), Lima (2013) y Bernabé *et al.*, (2013) reportaron valores de 26.4 %, 22 a 34%, 28.07 a 29.9%, 24 a 28.5 % respectivamente, estos valores están dentro del rango encontrados en este estudio de 25.58 a 31.81 % para *Pinus patula* (Cuadro 1).

Demirbas (2001) indica que existe una relacione entre el contenido de lignina y el poder calorífico de la biomasa lignocelulósica, que los valores caloríficos de los combustibles se pueden calcular utilizando el contenido de lignina, también señala que los extractos presentes elevan los valores. Con los datos obtenidos se graficó los valores de lignina, extractos y poder calorífico, como se muestra en la Figura 1.

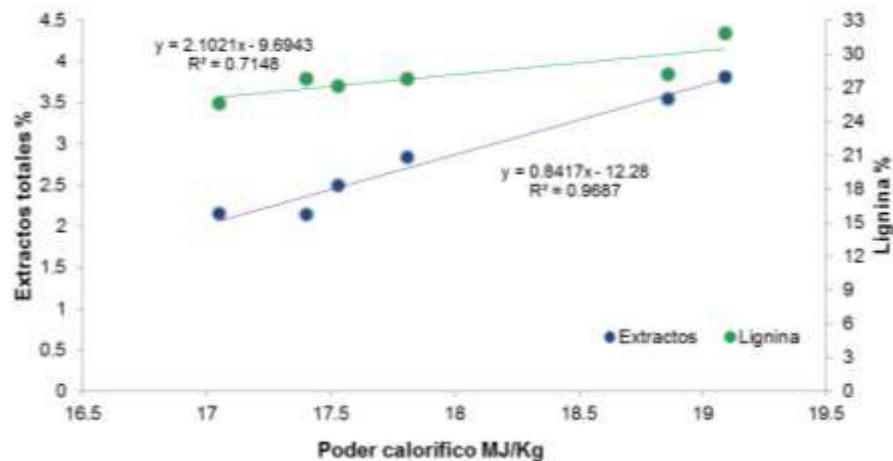


Figura 1. Relación entre el contenido de lignina y extractos con el poder calorífico

En la figura 1, aparecen la gráfica y el modelo matemático de R^2 ($R^2=0.71$ para lignina y $R^2=0.96$ para extractos) obtenidos al correlacionar los datos de poder calorífico, lignina y extractos. En la gráfica se puede observar la tendencia, que el poder calorífico tiende a aumentar a mayor contenido de extractos y lignina.

CONCLUSIONES

Los análisis realizados a los 6 árboles de *Pinus patula*, muestran cualidades energéticas para ser utilizado como combustible sólido, con un valor promedio de poder calorífico de 18 MJ/kg, un contenido de humedad de 8.43%, extractos totales de 2.81% y 28.05% de lignina, por lo que puede ser considerada como una opción de fuente de energía renovable, y que la lignina y los extractos están relacionados con el poder calorífico.

LITERATURA CITADA

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000. Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. ASTM E711, Annual Book of ASTM Standards, Vol.11.04., pp. 265-271
- Aniszewska, M y Gendek, A. 2014. Comparison of heat of combustion and calorific value of the cones and Wood of selected forest trees species, *Leśne Prace Badawcze*, 75:3, 231–236
- Bernabé S., R., L. E. Ávila C. y J. G. Rutiaga Q. 2013. Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. *Madera y Bosques* 19:2, 21-35
- Demirbas, A. 2001. Relationships between lignin contents and heating values of Biomass. *Energy Conversion and Management* 42, 183-188.
- Demirbas, A. 2002. Relationships between heating value and lignin, moisture, ash, and extractive contents of biomass fuels. *Energy Explor.* 20:105–111
- Demirbas, A. 2003. Fuelwood Characteristics of Six Indigenous Wood Species from the Eastern Black Sea Region, *Energy Sources*, 25:4, 309-316.
- Fonseca, M.M.R. 2006. Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*Pinus maximinoi h. e. moore*) procedente de la finca río frío, Tactic, Alta Verapaz. Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 101p.
- Godoy, A.E., Carvalho, R.C., Martínez, A.A.M., Álvarez, L.d., 2007 Estudio del contenido y la calidad de la lignina mediante pirolisis analítica en madera de *Pinus caribaea*, *Maderas. Ciencia y tecnología*. 9:2, 179-188.
- Hernández, H. J. 2001. Aprovechamiento energético de maderas residuales (I). *Ingeniería química*. ISSN 0210-2064, N°.380, p. 95-200.
- Huhtinen, M. 2006. Wood biomass as a fuel. Material for 5EURES Training sessions. NCP, Finland. Consultado en línea en: www.hnee.de/app/so.asp?o=/obj/CD8F42A0...WoodPropertiesPDF (el día 20 Junio 2021).



-
- IPCC. 2007. IPCC Fourth Assessment Report, Working Group III, Available from: <http://www.ipcc.ch> (consultado 20 Junio 2021).
- Lima, R. L. 2013. Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL., México. 55 p
- Obernberger, I., Brunner, T., & Bärnthaler, G., 2006. Chemical properties of solid biofuels—significance and impact. *Biomass and Bioenergy*, 30:11, 973-982.
- Parr, 1999. 1266 Isoperibol Bomb Calorimeter. Operating Instruction Manual. Technical Note No. 367M. Parr Instrument Company, Illinois, USA. 111
- Santos, S.J.M.2020. Determinación del poder calorífico de tres especies de coníferas de bosque templado de México *Pinus cooperi* C. Blanco, *Pinus durangensis* Ehren y *Pinus engelmannii* Carr, Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Technical association of the Pulp and Paper industry (TAPPI). 1991a. Preparation of wood for chemical analysis. T 264 om-88. TAPPI Test Methods. Vol.1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical association of the Pulp and Paper industry (TAPPI). 1991b. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 om-88 TAPPI. Test Methods. Vol.1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA.USA. p/sn
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 2006-2007. Solvent extractives of wood and pulp. T 204 cm-97. TAPPI Test Methods. Fibrous Materials and Pulp Testing. Versión CD, Atlanta, GA., EUA. 4 p.
- Vignote, P. S. y Martínez, R. I. 2006. Tecnología de la madera 3ª Ed. Madrid. Ediciones Mundi-Presa, 678.
- Zeng, W., Tang, S. & Xiao, Q. 2014. Calorific values and ash contents of different parts of Masson pine trees in southern China. *Journal of Forestry Research*. 25, 779–786



LOS DÉFICIT DE HUMEDAD EN LAS ZONAS PRODUCTORAS DE PALMA DE ACEITE DEL ESTADO DE TABASCO Y SU PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

THE WATER DEFICIT IN TABASCO STATE OIL PALM PRODUCING AREAS AND THEIR LIKELIHOOD OF OCURRING

¹Aceves Navarro LA, ²Arrieta Rivera A, ¹Juárez López JF

¹Colegio de Postgraduados - Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina S/N, C.P. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México.

²Tecnológico Nacional de México/IT de la Zona Olmeca, Prolongación Ignacio Zaragoza S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: [laceves@colpos.mx](mailto:lanceves@colpos.mx)

RESUMEN

El déficit de humedad es el principal factor que reduce los rendimientos de palma de aceite en el mundo. En las zonas productoras de palma de aceite en el estado de Tabasco ocurren déficits de humedad todos los años de diferente magnitud en la época seca. Esto ocasiona una enorme variación en los rendimientos de aceite año con año, en plantaciones bajo condiciones de temporal. El objetivo del presente estudio es analizar cómo se han desarrollado históricamente esos déficits, qué función probabilística les ajusta y cuál es el posible impacto económico a diez años, de seguir produciendo bajo condiciones de temporal. Para determinar el déficit hídrico anual (DHA) se utilizaron datos climatológicos históricos de precipitación y temperatura diaria con registros de al menos 20 años, de 7 estaciones climatológicas representativas de las 2 subregiones productoras de palma de aceite en el estado de Tabasco. Asimismo, se obtuvieron datos de las propiedades físicas de los tipos de suelos predominantes en las áreas productoras. Los resultados muestran que 9 de cada 10 años el productor de Teapa dejará de recibir al menos, \$1,422 por año y por hectárea, mientras que en Jalapa dejará de recibir \$11,051, debido a los déficits de humedad, que ocurren al cultivar palma de aceite bajo condiciones de temporal. Eso implica que en un periodo de 10 años los productores de Teapa dejarán de recibir al menos \$12,798 por hectárea y los de Jalapa \$99,459. Los resultados que se muestran en este trabajo, dan pauta para que el productor de un determinado municipio realice un análisis financiero de la conveniencia de solicitar o no crédito para la adquisición de un sistema de riego que elimine dichos déficits y estime el tiempo de amortización de dicha inversión.

Palabras clave: *Balance hídrico, pérdidas económicas, periodos de retorno.*

INTRODUCCIÓN

En Tabasco se produce aceite de palma en las subregiones de la Sierra y de los Ríos. Los municipios con mayor superficie cultivada y que actualmente están bajo producción son: Balancán, Emiliano Zapata, Tenosique, Teapa, Jalapa, Tacotalpa y Macuspana. En 2019, se tuvo un rendimiento promedio de 15.4 t ha⁻¹; de racimos frescos de fruta (RFF) (FEMEXPALMA, 2020), con un valor de la producción de 306.87 millones de pesos (SIAP-SADER, 2021). La literatura científica documenta que la precipitación es el principal factor que limita el crecimiento de la palma de aceite y el poder obtener altos rendimientos (Corley y Tinker, 2008). Estos mismos autores detallan los efectos que el déficit de agua ocasiona en la fisiología del cultivo en la relación de sexos, aborto de inflorescencias femeninas y peso del racimo; factores de los que dependen principalmente los rendimientos. A su vez, Ochs y Daniel (1976), señalan que los efectos de las sequías prolongadas sobre la palma de aceite ocasionan numerosas flechas cerradas, hojas verdes partidas, numerosas hojas secas, reducción en la capacidad fotosintética, y por ende en el potencial de rendimiento. Resultados experimentales en los principales países productores de palma de aceite del mundo, muestran que los rendimientos se reducen de manera exponencial a medida que se incrementa el valor del déficit hídrico anual (Corley y Tinker 2008; Ochs y Daniel, 1976). Por su parte, el Institut de Recherche pour les Huiles et Oleagineus (IRHO) de Francia, reporta que por cada 100 mm de déficit hídrico anual (DHA) el rendimiento de RFF se reduce



en 2.88 t ha^{-1} de un máximo de 30 t ha^{-1} (Corley y Tinker, 2008). Por su parte, Woittiez *et al.* (2017), reportan que el rendimiento de aceite (t ha^{-1}) bajo condiciones limitadas por agua, llega a su máximo y se estabiliza en 7.5 t ha^{-1} a partir del octavo año; que es equivalente a una producción de 30 t ha^{-1} de racimos de fruta fresca (RFF), similar a lo propuesto por el IRHO. Estos autores señalan que es necesaria una adecuada disponibilidad de humedad del suelo en forma constante, durante todo el ciclo del cultivo, ya que la palma de aceite crece y fructifica continuamente. Ese requerimiento de agua, se hace equivalente al valor de la evapotranspiración de referencia (ET_0).

El cálculo de los déficits de humedad a lo largo del año, se realiza mediante un balance hídrico; que consiste en restar la precipitación a las demandas de agua del cultivo en el periodo escogido, más la humedad residual del suelo. Se espera que ocurran las producciones máximas de materia seca cuando la planta consume cantidades de agua equivalentes a la ET_0 (Dufrene *et al.*, 1992).

Es relevante señalar que los efectos de los déficits de humedad se presentan hasta 40 meses después de haber ocurrido el estrés de agua en el cultivo de la palma de aceite (Corley y Hong 1981; Lubis *et al.*, 1993; Donough *et al.*, 2009); por lo que la realización de un balance hídrico (BH) es una herramienta que auxilia el proceso de toma de decisiones para la planificación y el manejo de este sistema agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Este estudio se realizó en el estado de Tabasco, en las dos subregiones productoras de palma de aceite; La subregión de la Sierra y la subregión de los Ríos. Se seleccionaron 7 estaciones climatológicas representativas de esas subregiones. Para la subregión de la Sierra se escogieron las estaciones climatológicas de Teapa, Jalapa, Tacotalpa y Macuspana. Para la subregión de los Ríos las estaciones de Balancán, Tenosique y Emiliano Zapata. El mapa de la Figura 1, muestra la localización de las subregiones y los municipios productores de palma de aceite.

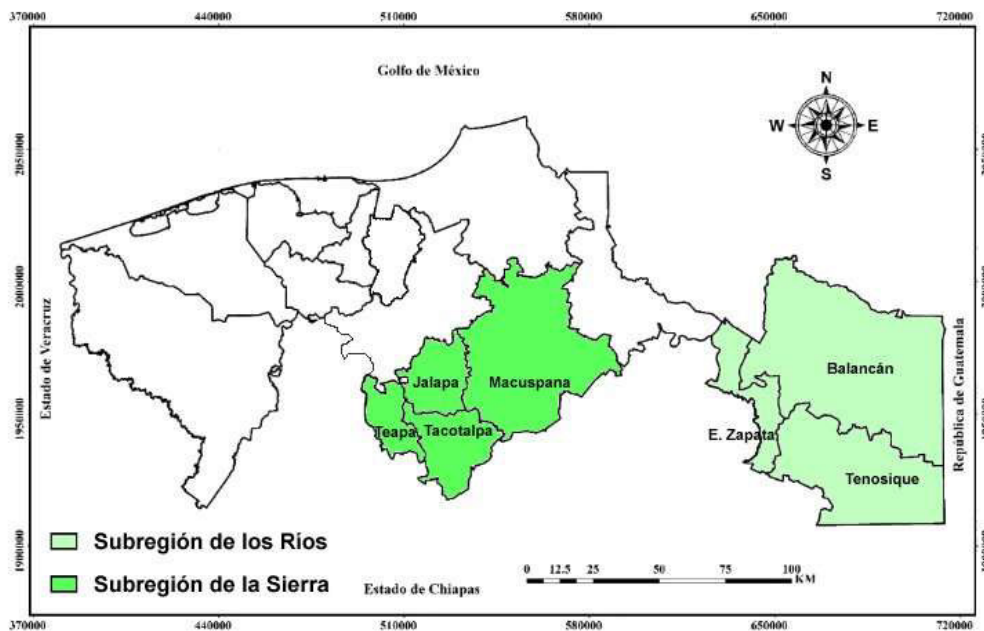


Figura 1. Mapa de Tabasco mostrando las subregiones y sus municipios, productores de palma de aceite.

Datos climatológicos. Para las 7 estaciones climatológicas selectas, se procedió a obtener sus datos diarios y sus promedios mensuales de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima utilizando la base de datos ERIC III v. 3.2 (IMTA, (2009). Los registros de los datos diarios reportados variaron desde 14 a 49 años en las diferentes localidades selectas. Solo se seleccionaron aquellos años completos en cada serie.



Estimación del déficit hídrico anual (DHA). El déficit hídrico se puede estimar para cualquier intervalo de tiempo, a partir de un balance hídrico climático, mediante la ecuación reportada por Ruiz-Álvarez *et al.*, (2012). El periodo de tiempo selecto en el presente estudio fue de un mes.

$$BH_i = SW_i + PPt_i - ET_{0_i} \quad (1)$$

Donde:

BH_i = Balance hídrico climático del mes actual i , (mm);

SW_i = Reserva de humedad aprovechable teórica en el suelo, al inicio del período " i ", a la profundidad de un metro (mm);

PPt_i = Precipitación total del mes actual i , (mm)

ET_{0_i} = Evapotranspiración de referencial del mes actual i , (mm)

i = Período de tiempo escogido (mes).

Cuando en un mes el balance hídrico (BH) da valores negativos se tiene un déficit. La suma de los valores negativos de BH de cada mes durante el año, es lo que se conoce como déficit hídrico anual (DHA).

En las regiones productoras de palma de aceite en el mundo, la reserva de humedad aprovechable (SW) por metro de profundidad del suelo, varía desde 83 mm hasta 167 mm (Corley y Tinker 2008).

En el presente estudio se seleccionó un metro de profundidad, pues garantiza un abastecimiento mínimo de 100 mm de humedad aprovechable; de acuerdo a lo reportado por López *et al.* (2007), para las texturas predominantes en los suelos de Tabasco.

El balance hídrico se inició en el mes noviembre, pues se garantiza que el suelo esté a su máxima capacidad de almacenamiento de humedad por las abundantes precipitaciones del mes de octubre.

La evapotranspiración de referencia (ET_0), se estimó con la ecuación de Hargreaves-Samani (1985) que solo requiere datos de temperatura e irradiación solar extraterrestre (R_a). Esta ecuación se muestra a continuación:

$$ET_0 = 0.0023 * \left[(T_{\max} - T_{\min})^{0.50} \right] * (17.8 - T_{\text{med}}) * \left(\frac{R_a}{2.45} \right) \quad (2)$$

Donde ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm d^{-1}); T_{med} es la Temperatura promedio diaria ($^{\circ}\text{C}$); T_{\max} es la Temperatura máxima diaria ($^{\circ}\text{C}$); T_{\min} es la Temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$) y R_a es la Irradiación solar extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Para calcular R_a solo se requiere conocer la latitud de la estación climatológica y el día de año. En el estudio de la FAO (Riego y Drenaje 56), se muestra en detalle y con ejemplos, las ecuaciones para su cálculo (Allen *et al.*, 2006).

Simulación Montecarlo. A las estaciones con menos de 30 años de registros completos, se les generó al menos 50 años de valores de DHA al usar números aleatorios en función de su ajuste a una determinada función probabilística. Se elaboró por parte de los autores una hoja de Excel que permite generar datos aleatorios de DHA con una distribución Normal y Log-Normal a partir de la media y desviación estándar de los datos observados. Se utilizaron las distribuciones probabilísticas Normal y Log-Normal porque son las que mejor ajustan a esta variable. Para verificar que los valores simulados se distribúan como la distribución probabilística propuesta, se realizaron 100 simulaciones por cada estación climatológica selecta con este objetivo. De esas simulaciones, se seleccionó aquel grupo de 50 valores simulados de DHA que simultáneamente tuvieran una media y una desviación estándar con una diferencia máxima del 5% respecto a la media y desviación estándar de los datos observados.

Cálculo de probabilidades observadas del DHA. A los datos resultantes del DHA de cada año y de cada estación climatológica selecta, se les determinó su frecuencia relativa observada y/o probabilidad



empírica (P_o). Para ello se utilizó la técnica de los puntos de posición gráfica o gráfico de probabilidades, en la cual se ordenan los valores del DHA del mayor al menor, se enumeran y la probabilidad posicional se obtiene utilizando la ecuación propuesta por Weibul (Fadalpanah y Jorabloo, 2011):

$$P_o = M/(N+1) \quad (3)$$

Dónde; M es el número de orden y N es el número de observaciones.

Ajuste de una distribución probabilística a los datos observados del DHA. Para determinar qué función probabilística ajusta a los datos observados de DHA, en una hoja de Excel se sometieron los valores del DHA a una "Prueba de Normalidad", que consiste en comparar la media aritmética con la media geométrica y calcular la diferencia relativa entre ambas (%). Se acepta que los datos se distribuyen Normalmente si esa diferencia es igual o menor al 5%. Si no es así, se propone otra distribución probabilística diferente, en particular, las Transformadas de la Normal (Log-Normal, Raíz, Cúbica, Raíz Cuarta, etc. etc.). En la Figura 2, se muestra de manera esquemática el diagrama de flujo correspondiente para obtener las probabilidades de un conjunto de valores del DHA. Una vez obtenida la función probabilística que mejor ajustó se calculan las probabilidades correspondientes.

Valores del DHA iguales a cero. Cuando resulta que en un conjunto de datos de DHA hay uno o varios años con valor igual a cero, la probabilidad se corrige por este hecho. Primero; se calcula la Probabilidad Binomial de que DHA sea cero o no sea cero, mediante la siguiente ecuación:

$$p + q = 1 \quad (6)$$

Dónde, p es la probabilidad que DHA sea cero; y q es la probabilidad de no ser cero.

Ejemplo: Hay 30 datos de DHA y 3 de ellos son ceros; $p = 3/30 = 0.10$ y $q = 27/30 = 0.90$.

Segundo; se trabaja solo con los datos diferentes de cero y a esos datos se les ajusta una determinada función de probabilidad. Tercero; se corrige la probabilidad resultante al incluirle la probabilidad de ser cero, mediante la siguiente ecuación:

$$P_c' = P_c + p \quad (7)$$

Donde P_c' es la probabilidad corregida; P_c es la probabilidad calculada de los datos diferentes de cero; y p es la probabilidad Binomial de ser cero.

Correlación entre los valores de probabilidad ajustada y observada. Para determinar que tan bueno fue el ajuste de la distribución probabilística propuesta, se realizó un análisis de regresión lineal simple entre los valores de probabilidad de la función probabilística propuesta y los valores de la probabilidad observada y se les determinó el coeficiente de correlación y determinación correspondiente.

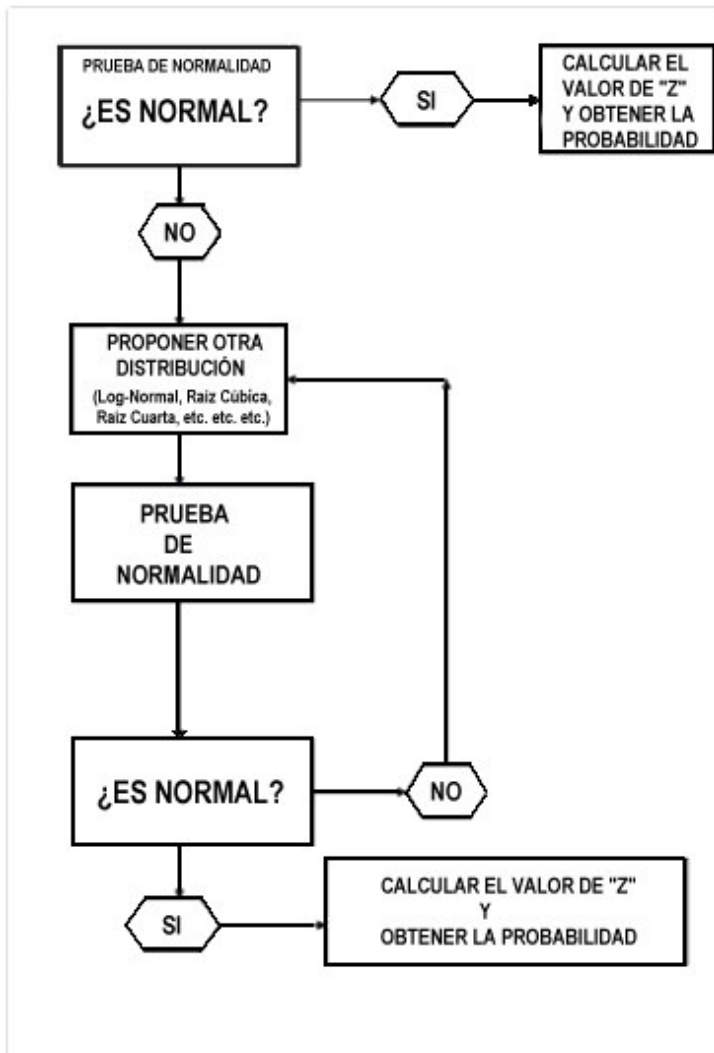


Figura 2. Diagrama de flujo para obtener las probabilidades de un conjunto de datos. (Elaboración propia).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo histórico de los DHA. Los valores resultantes del DHA para cada año y para cada estación climatológica selecta, se graficaron en el tiempo. La Figura 3, muestra el desarrollo histórico de los valores del DHA en el área de influencia de la estación climatológica de Macuspana, Tabasco. Esta figura es solo un ejemplo del comportamiento similar que se observó en las otras 6 estaciones selectas. Todas mostraron que los valores de DHA varían año con año y no se repiten, que con excepción de Teapa y Tacotalpa, donde hubo años con valores del DHA de cero (1 en Teapa y 7 en Tacotalpa); todos los años ocurren déficits hídricos en el año. Por ejemplo, en Macuspana, en años secos este valor llega casi a los 550 mm y en años húmedos a casi 100 mm. Históricamente hay una variación de casi 450 mm a lo largo del tiempo. Si los rendimientos de racimos de fruta fresca (RFF) están asociados a los valores de DHA; implica que éstos a su vez variarán cada año siguiendo el patrón de distribución del DHA con desfase en sus impactos de hasta 40 meses (Donough *et al.*, 2009).

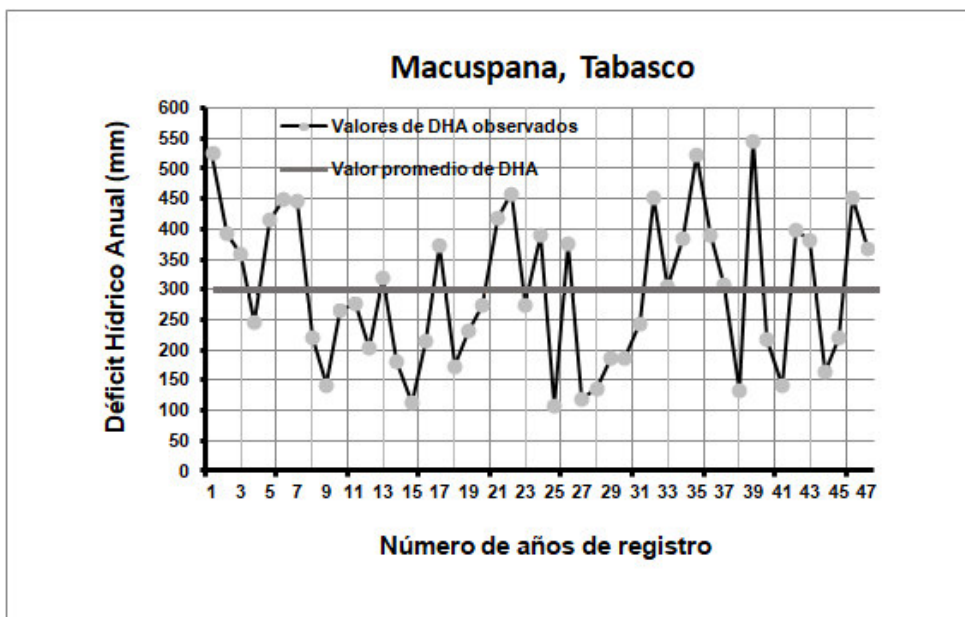


Figura 3. Variación histórica del déficit hídrico anual en el área de influencia de la estación climatológica de Macuspana, Tabasco.

Tendencia en el desarrollo histórico de los valores del DHA. Los resultados mostraron que prácticamente no hubo una tendencia significativa en los valores del DHA con el paso del tiempo; ya que la línea de tendencia fue similar a la del promedio. Los valores de tendencia tanto positiva como negativa, fueron en todos los casos inferiores al 1% respecto a la línea media. Aunque insignificantes, es importante señalar que hubo diferencias en las tendencias. Así, Jalapa y Macuspana mostraron una tendencia negativa con valores de 2.8 mm/año y 0.21 mm/año, respectivamente. En cambio, el resto de las estaciones mostraron una tendencia que fluctuó entre 0.20 mm/año a 2.2 mm/año.

Valores observados del DHA. En la Tabla 1, se presentan los valores mínimos, máximos, promedio y oscilación del DHA, de los diferentes municipios productores de palma de aceite. Se puede apreciar que excepto Tacotalpa y Teapa, el resto presenta valores mínimos del DHA que varían entre 98.6 mm para Tenosique y 228.6 mm para Jalapa. En cambio los valores máximos van de 452.7 mm en Teapa a 638.0 mm en Jalapa. A su vez, la oscilación entre los valores del DHA varían entre 338.3 mm en Balancán a 511.8 mm en Tenosique. Si los valores del DHA están asociados a una disminución del rendimiento en RFF, cuanto mayor sea el déficit, mayor será la disminución en el rendimiento de acuerdo a Corley y Tinker (2008); Ochs y Daniel, (1976).

Tabla 1. Valores históricos extremos y promedio del DHA y su oscilación, en los diferentes municipios productores de palma de aceite en el estado de Tabasco.

MUNICIPIO	Valor del DHA			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Oscilación
JALAPA	228.6	638.0	410.6	409.4
MACUSPANA	107.6	546.8	300.4	439.2
TACOTALPA	0.0	492.1	167.1	492.1
TEAPA	0.0	452.7	152.2	452.7
BALANCÁN	182.9	521.2	323.2	338.3
E. ZAPATA	155.9	616.0	330.2	460.1
TENOSIQUE	98.6	610.4	294.9	511.8



Así, esta tabla muestra que Tenosique es donde mayor variación en los rendimientos se puede esperar de un año a otro. Mientras que en Balancán dicha variación será la menor. Respecto a los promedios, Teapa ocupa el valor más bajo y Jalapa el más alto.

Ajuste de funciones probabilísticas. Al realizar el ajuste de funciones probabilísticas a los datos observados del DHA, se encontró que la Distribución Normal fue la que mejor ajustó para las estaciones de Jalapa y Balancán. En cambio, la Distribución Log-Normal, es la que mejor ajustó para las estaciones de Macuspana, Teapa, Emiliano Zapata, Tenosique y Tacotalpa. Los análisis de regresión entre las probabilidades estimadas y las observadas, dio como resultado que el coeficiente de correlación fue en todos los casos superior al 98%, lo que muestra que la funciones probabilísticas selectas tuvieron un muy buen ajuste y que son confiables para estimar las probabilidades de excedencia de cualquier valor del DHA.

Distribución de las Probabilidades. En las Figuras 4, 5 y 6 se muestra la relación entre los valores del DHA y su probabilidad de excedencia. Estas gráficas permiten determinar el valor del DHA a una probabilidad de ocurrencia y a un periodo de retorno fijado. Así, en esas figuras se puede apreciar el valor del DHA a una probabilidad de excedencia del 0.90; que implica que al menos, ese valor ocurrirá en 9 de cada 10 años.

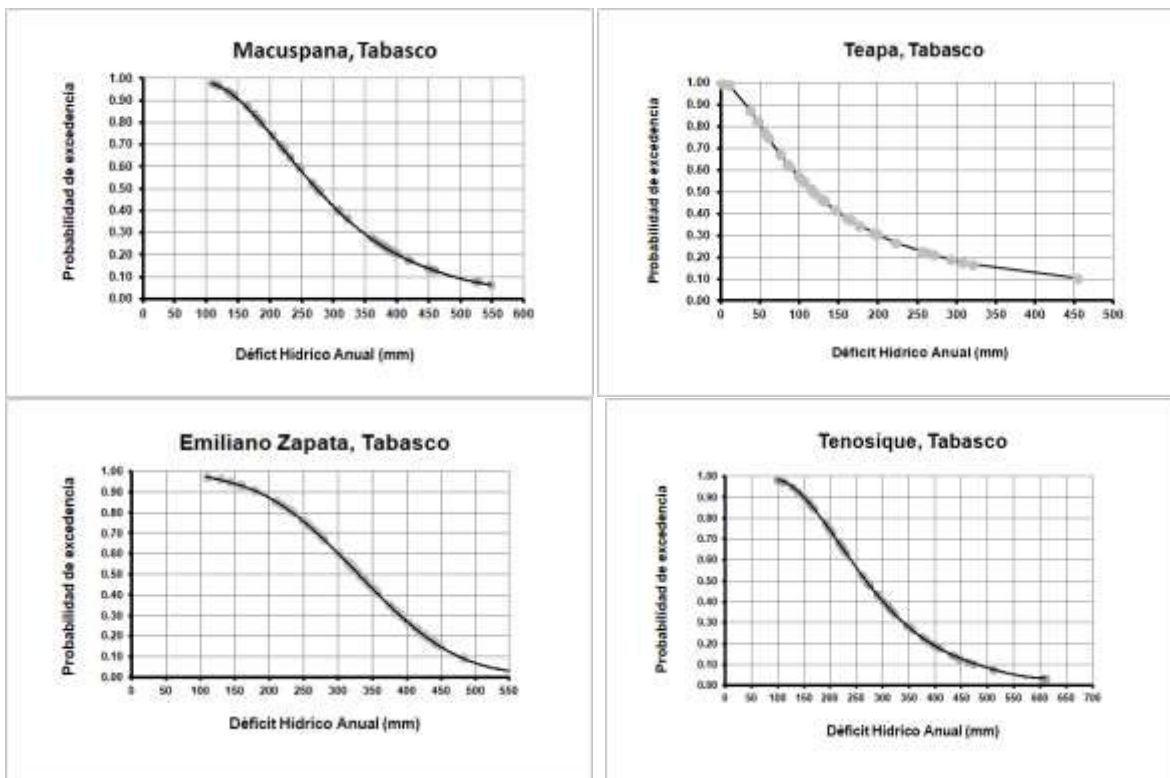


Figura 4. Distribución probabilística Log-Normal del déficit hídrico anual en el área de influencia de las estaciones climatológicas de Macuspana, Teapa, Emiliano Zapata y Tenosique, Tabasco.

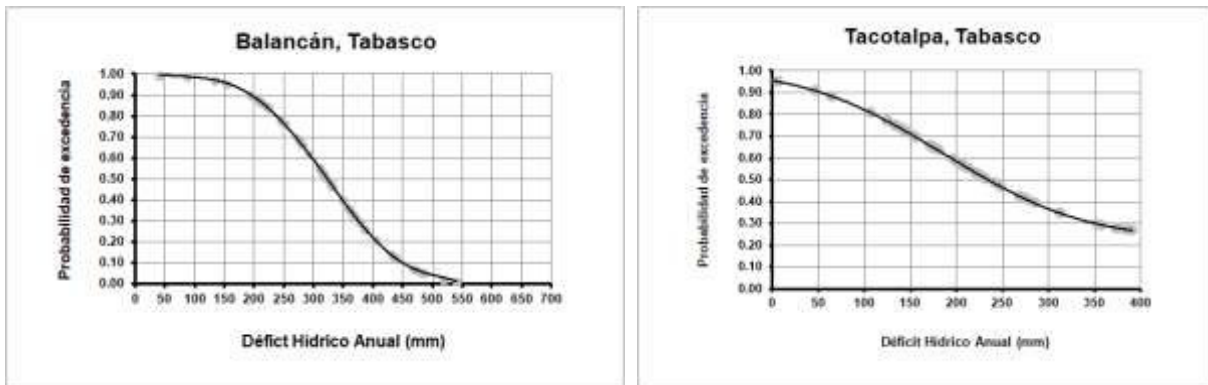


Figura 5. Distribución probabilística Normal del déficit hídrico anual en el área de influencia de la estación climatológica de Balancán y Log-Normal de la estación climatológica de Tacotalpa, Tabasco.

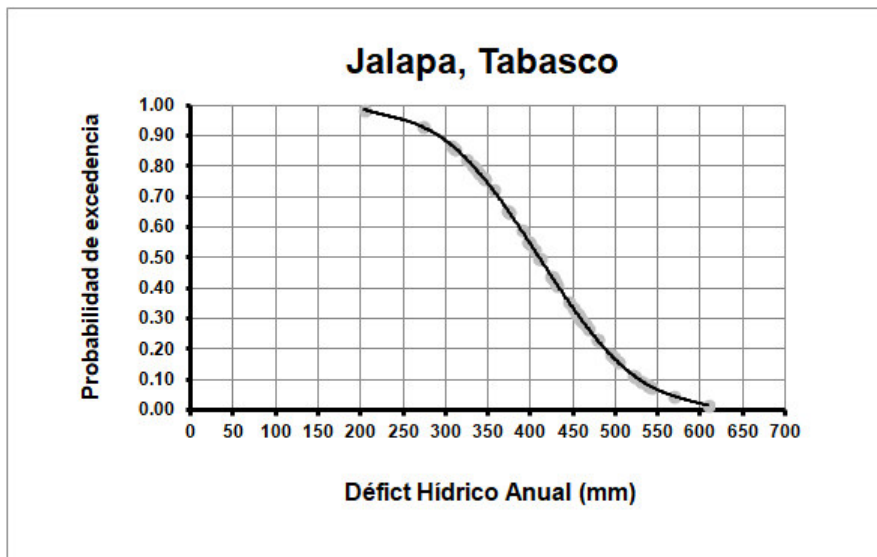


Figura 6. Distribución probabilística Normal del déficit hídrico anual en el área de influencia de la estación climatológica de Jalapa, Tabasco.

En la Figura 6, se puede apreciar que en el área de influencia de la estación climatológica de Jalapa, casi al 100% de probabilidad se tendrán valores mínimos del DHA cercanos a 200 mm. Mientras que en las Figuras 4 y 5 esos valores mínimos son de cero en Teapa y Tacotalpa. Asimismo, la Figura 4, muestra que Emiliano Zapata, Tenosique y Macuspana tienen un valor del DHA cercano a 100 mm con casi el 100% de probabilidad de excedencia de ocurrir.

El DHA y las pérdidas económicas. En la Tabla 2, se muestra que 9 de cada 10 años siempre habrá un déficit de humedad y que el DHA será al menos de 292.1 mm en Jalapa, i.e. ese es el valor mínimo que puede ocurrir 9 de cada 10 años. Por lo que las pérdidas de ganancia indicadas son las mínimas posibles a ese valor de DHA por hectárea. Ese déficit ocasiona pérdidas mínimas de ganancia de \$11,051 cada año por hectárea; equivalente a \$ 99,456 en 10 años a precios promedio del 2019 (FEMEXPALMA, 2020). En cambio, en Teapa, esa pérdida mínima es de solo \$1,442 por hectárea y por año. En la Tabla 2, el productor palmero tiene un referente económico para realizar un análisis financiero sobre el costo de adquisición de un sistema de riego y su periodo de amortización y lo que deja de ganar por hectárea, al seguir manteniendo su plantación bajo condiciones de temporal..



Tabla 2. Pérdida de ganancia en pesos asociadas a una probabilidad de excedencia del 90% de ocurrencia del DHA.

MUNICIPIO	PROBABILIDAD \geq 0.90		Pérdida en 9 años*
	DHA	Pérdida en ganancia*	
JALAPA	292.1	\$11,051	\$99,456
MACUSPANA	151.2	\$5,720	\$51,482
TACOTALPA	86.7	\$3,280	\$29,520
TEAPA	37.6	\$1,422	\$12,802
BALANCÁN	194.6	\$7,362	\$66,259
E. ZAPATA	196.7	\$7,442	\$66,974
TENOSIQUE	148.5	\$5,618	\$50,562

(*) Precios promedio por tonelada de RFF en 2019 según FEMEXPALMA, (2020).

CONCLUSIONES

El déficit hídrico anual se distribuyó Normalmente en las estaciones climatológicas de Jalapa y Balancán. En el resto, los valores del DHA ajustaron a una Distribución Probabilística Log-Normal. Los valores del DHA que ocurren en los municipios productores de palma de aceite, en 9 de cada 10 años generan pérdidas económicas mínimas que fluctúan entre \$1,422 a \$11,951 por hectárea bajo condiciones de temporal. El municipio más vulnerable a los DHA es Jalapa y el menos vulnerable es Teapa. Los datos históricos indican que excepto Teapa y Tacotalpa, todos los años ocurrirán déficits de humedad en el resto de las áreas productoras de palma de aceite en Tabasco; que ocasionarán reducciones en los rendimientos en plantaciones bajo condiciones de temporal.

LITERATURA CITADA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo – Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56*. FAO, Rome. 322 p.
- Corley, R. H. V. and PB Tinker. 2008. *The Oil Palm*. Fourth Edition. Blackwell, Science Ltd. Oxford, UK. 562 p.
- Corley, R. H. V., T. K, Hong. 1981. Irrigation of oil palms in Malaysia. In: (E. Pushparajah; P.S. Cnew, (Eds.)) of the International Conference on the Oil Palm in Agriculture in the Eighties. Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. vol.2, p.343-356.
- Donough, C. R., Witt, C. y Fairhurst T. H. 2009. Yield intensification in oil palm through best management practice. *Better Crops*, Vol. 93(1): 12 – 14.
- Dufrene, E., Dubos, B., Rey, H., Quencez, P. and B. Saugier. 1992. Changes in evapotranspiration from an oil palm stand (*Elaeis guineensis* Jacq.) exposed to seasonal water deficits. *Acta Ecologica*, 13: 299 - 314.
- FEMEXPALMA, (Federación Mexicana de Palma de Aceite). 2020. Anuario Estadístico. Villahermosa, Tabasco, México. S/E. 75 pp.
- Fuladipanah, M. and Jorabloo, M. 2011. Determination of plotting position formula for the Normal, Log-Normal, Pearson (III), Log-Pearson (III) and Gumbel distribution hypotheses using probability plot correlation coefficient test. *World Applied Sciences Journal*, 15(8): 1181 – 1185.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.*, 1(2): 96-99.
- IMTA, (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2009. ERIC III: Extractor Rápido de Información Climatológica v.2. CD, p. 28.
- López, G. A. D. R., Palma, G. B., Hernández, R. M. A., Ojeda, M. M. E., Angeles, P. A., Ruiz, N. J. A., Garcia, M. M. J. 2007. Caracterización fisicoquímica de los suelos predominantes en el estado de Tabasco. *Conciencia Tecnológica* 7(34): 45-46.



-
- Lubis, A.U., S, Endang., P. Kabul. 1993. Effect of long dry season on oil palm yield at some plantations in Indonesia. In: International Palm Oil Congress, Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. p.253-262.
- Ochs, R. and Daniel, C. 1976. Research on techniques adapted to dry regions. In: Developments in Crop Science 1. Oil Palm Research. Edited by Corley, R. H. V., Hardon, J. J. and B. J. Wood. Elsevier Pub. Co. Amsterdam, The Netherlands. pags. 183-213.
- Ruiz-Álvarez, O., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., Ontiveros-Capurata, R. E. y López-López, R. 2012. Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28(1): 1 – 14.
- Woittiez, L. S., van Wiljk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M. E. 2017. Yield gap in oil palm. A quantitative review of contributing factors. *Europ. J. Agronomy*, 83: 57 – 77.

REFERENCIAS INFORMÁTICAS

SIAP-SADER, (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. Agricultura. Disponible en <http://www.nube.siap.gob.mx/cierreagricola> Consultado el 06 de marzo de 2021.



ESTUDIO DEL SISTEMA RADICAL Y DE LA NODULACIÓN DE LA LEGUMINOSA *Crotalaria*

STUDY OF THE RADICAL SYSTEM AND NODULATION OF THE LEGUMINOUS *Crotalaria*

¹Trujillo-Narcía A y ²Rivera-Cruz MC

¹Cuerpo Académico Energía y Medioambiente. Programa Educativo Químico Farmacéutico Biología. Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ra. Paso y Playa. CP 86500, Cárdenas, Tabasco, México.

²Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental. Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n km 3.5, 86570 H. Cárdenas, Tabasco, México

*Autor para correspondencia: atrujillonarcia@gmail.com

RESUMEN

Durante febrero a septiembre de 2020 se realizó en campo un experimento completamente al azar con arreglo bifactorial, el factor 1 fue la especie de la leguminosa *Crotalaria*, y el factor dos el tiempo de muestreo (mes). La raíz y nódulos, de cuatro especies de la leguminosa, se extrajeron de núcleos de suelo de 0.5 x 0.5 m de área y 0.3 m de profundidad, las colectas fueron efectuadas los días 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 242 después de la siembra. Las raíces se lavaron y pesaron, y se contaron los nódulos. Las cantidades de raíz y de nódulos, entre especies y tiempo, registraron diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$). La mayor cantidad de raíz seca el día 30 fue 0.43 g en *Crotalaria* sp, los días 120 y 210 aumentó de 25.97 a 28.81 g en *C. incana* y en *C. longirostrata*, aumentó 60 y 67 veces, respectivamente. La lluvia abundante de finales de agosto y también septiembre originó marchitamiento de la planta, la raíz necrosó y disminuyó la biomasa por la descomposición. En cuanto a la cantidad de nódulos/especie registró la misma tendencia creciente a través del paso del tiempo. *Crotalaria* sp formó 157 nódulos el día 30 y aumentó a 1254 nódulos el día 120. La mayor cantidad de nódulos se extrajo el día 242, fueron 1616 nódulos en formado en el sistema radical de *C. incana*. La relación entre cantidad de raíz *versus* cantidad de nódulos fue positiva. *C. incana* fue la especie silvestre con mejor beneficio simbiótico.

Palabras clave: *biomasa, incana, longirostrata, raíz, retusa.*

INTRODUCCION

Algunas de las principales plantas cultivadas que sirven de alimento a los seres humanos y a los animales domesticados son leguminosas. Estas plantas viven en estrecha asociación con bacterias que forman en sus raíces estructuras llamadas nódulos (Cano y Marroquín, 1994). Las interacciones positivas entre plantas y microorganismos son diversas, una es la simbiosis en la cual ambos organismos son beneficiados mutuamente (Brady y Weil, 2008; Madigan *et al.*, 2015; Burke, 2017; Coleman *et al.*, 2018). Las esporas bacterianas localizadas en el suelo se activan bajo condiciones favorables, forman nódulos en la raíz de la planta, el nódulo es el microhábitat favorable para la bacteria y la planta aprovecha el nitrógeno biodisponible (Madigan *et al.*, 2015). En los nódulos estas bacterias convierten el nitrógeno atmosférico en amoníaco durante el proceso de la fijación de N que las plantas utilizan como fuente de nitrógeno para crecer. La fijación del nitrógeno en los nódulos de las raíces supone la cuarta parte del N₂ fijado anualmente en nuestro planeta y tiene importancia enorme para la agricultura, puesto que aumenta el contenido de N fijado en el suelo (Brady y Weil, 2008; Cooper y Scherer, 2012; Madigan *et al.*, 2015). Los objetivos fueron estudiar las variaciones temporales de la biomasa del sistema radical, además identificar las cantidades de nódulos en cuatro especies de la leguminosa *Crotalaria*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de las cantidades de biomasa radical y nódulos se realizó en dos etapas, la primera fue en campo y la segunda en laboratorio. **Campo.** Durante febrero a septiembre de 2020 se realizó en el área experimental en la Universidad Popular de la Chontalpa (17.9598 Latitud Norte y -93.3639 Longitud

Oeste) un experimento completamente al azar con cuatro especies de la leguminosa *Crotalaria: incana, longirostrata, retusa* y una especie pubescente no identificada (sp) (Figura 1a). Se establecieron tres repeticiones de cada especie, en total fueron 12 unidades experimentales. Núcleos de suelo de 0.5 x 0.5 m de área y 0.3 m de profundidad fueron extraídos (Figura 1b) los días 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 242 después de la siembra. La planta se extrajo del núcleo del suelo, se colectó la raíz y los nódulos se separaron de la raíz. La raíz se lavó con agua de llave y se introdujo en bolsa de papel, los nódulos fueron separados de la raíz, se lavaron e introdujeron en recipientes de vidrio de 0.25 kg de capacidad, por último, fueron preservados en hielera con hielo (Figura 1c). **Laboratorio.** Se realizó la separación de la raíz que aún conservaba el nódulo (Figura 2a) y se introdujo en la bolsa de papel respectiva. Los nódulos fueron ordenados (Figura 2b) según tamaño (<1, 1-3, 3-5, 5-10 y >10 mm), se contaron los nódulos de cada planta, se midieron con vernier digital (Figura 2c) y después se introdujeron en cajas Petri (Figura 2d) para su preservación a 4 °C, y su uso en otras fases no reportadas en este estudio (viabilidad del nódulo y determinación del contenido de nitrógeno). La raíz se sometió a secado durante 48 h a 75 °C y se pesó en balanza semi-analítica, el cálculo fue mediante gravimetría. Se utilizó el paquete estadístico SAS (2005) para realizar la prueba de análisis de varianza de las cantidades de raíz y de nódulos. Se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia ≤ 0.05 .

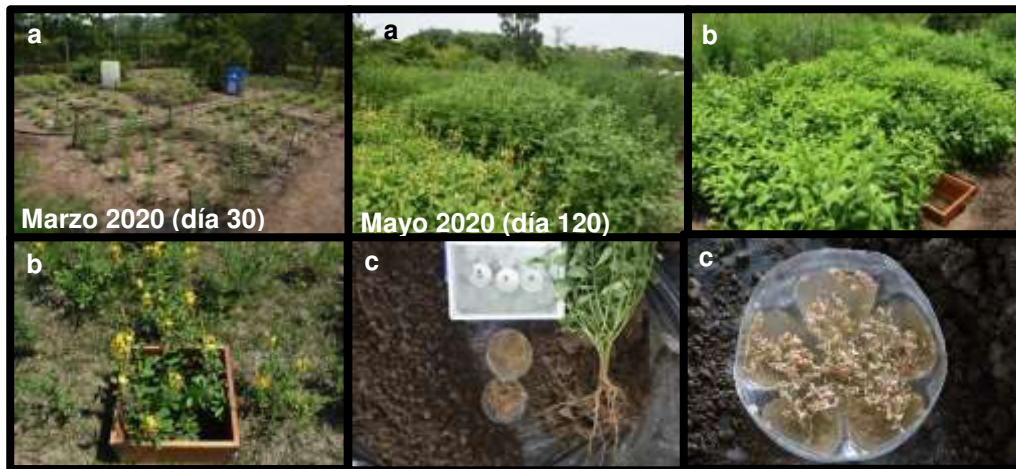


Figura 1. Actividades realizadas durante el trabajo en campo. a) Paisajes del experimento a los 30 y 120 días después de la siembra, b) colecta del núcleo del suelo y, c) colecta y separación de los nódulos de la raíz.

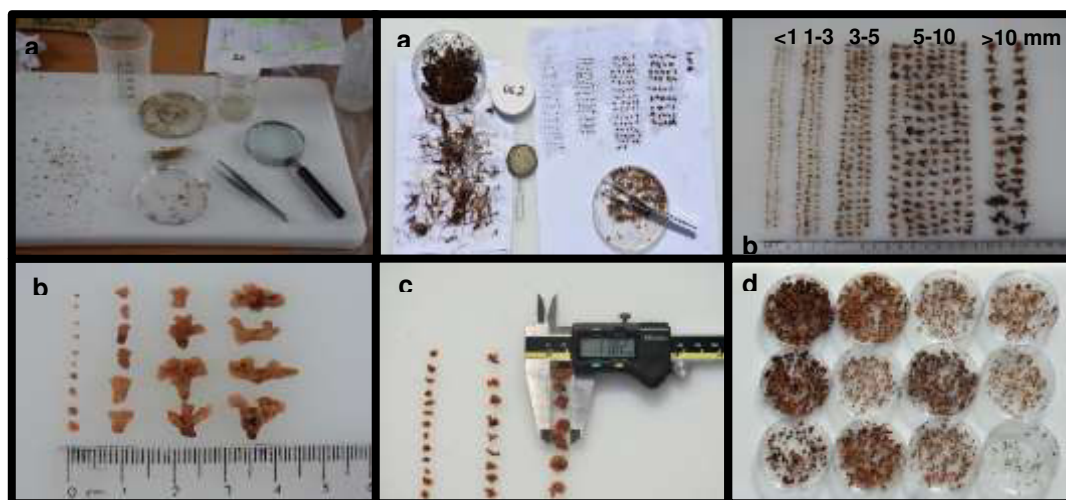




Figura 2. Actividades realizadas en laboratorio. a) Separación de la raíz remanente adherida al nódulo, el nódulo, b) ordenamiento de los nódulos según tamaño, c) medición del tamaño del nódulo, y d) introducción del nódulo en caja Petri para su preservación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las cantidades promedio de la biomasa radical seca de las cuatro especies registraron diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$) (Cuadro 1) durante los ocho meses del estudio. La mayor cantidad de raíz seca el día 60 fue 0.43 g en *Crotalaria* sp y aumentó gradualmente a través del tiempo hasta un máximo de 57.05 g en *C. incana* el día 210. Las lluvias ocurridas durante septiembre indujeron anegamiento del área experimental, afectó el sistema radical de la planta y el microambiente edáfico para las bacterias fijadoras de nitrógeno. La inundación primero y la excesiva humedad después causaron, entre agosto y septiembre, la disminución de la biomasa radical desde 80% en *C. longirostrata* hasta 458% en *C. incana*. La cantidad de nódulos/especie registró la misma variación temporal. *Crotalaria* sp formó 157 nódulos el día 60 (Figura 3) aumentó a 1254 el día 120; la mayor cantidad se encontró el día 210, fue 1616 en *C. incana* (Figura 6). Esta tendencias de la nodulación y de biomasa radical coinciden con los reportados por Trujillo-Narcía *et al.* (2018) en un estudio similar efectuado durante cinco meses con la leguminosa zarza (*Mimosa pigra*).

Cuadro 1. Biomasa seca (g) de la raíz de cuatro especies de la leguminosa *Crotalaria* durante febrero a septiembre de 2020.

<i>Crotalaria</i>	Marzo (D60) [¶]	Abril (D90)	Mayo (D120)	Junio (D150)
<i>incana</i>	0.15±0.015 [†]	7.36±2.175*	16.877±3.544*	25.97±4.313*
<i>longirostrata</i>	0.33±0.081	6.81±1.941*	14.09±2.395	16.55±6.917
<i>retusa</i>	0.28±0.015	6.77±0.639*	11.72±1.523	9.80±1.921
sp	0.43±0.092*	4.27±1.754	10.37±1.814	.24±2.412

<i>Crotalaria</i>	Julio (D180)	Agosto (D210)	Septiembre (D242)
<i>incana</i>	28.12±3.009*	57.05±3.165*	10.21±2.11
<i>longirostrata</i>	28.81±5.297*	50.46±5.819	28.03±2.864*
<i>retusa</i>	10.33±0.804	17.76±2.019	4.01±0.89
sp	18.42±3.182	30.94±2.096	17.25±2.716

[¶]D = día, [†] = media y desviación std, *especie con mayor diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$, n = 3) dentro de cada mes.

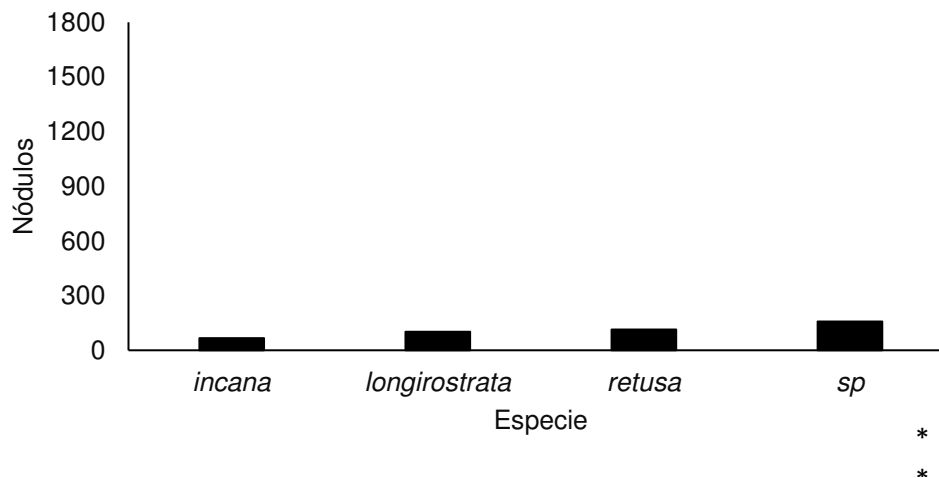


Figura 3. Nódulos formados en las raíces de cuatro especies de *Crotalaria* durante marzo de 2020 (día 60). *Especie con mayor diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$, n = 3).

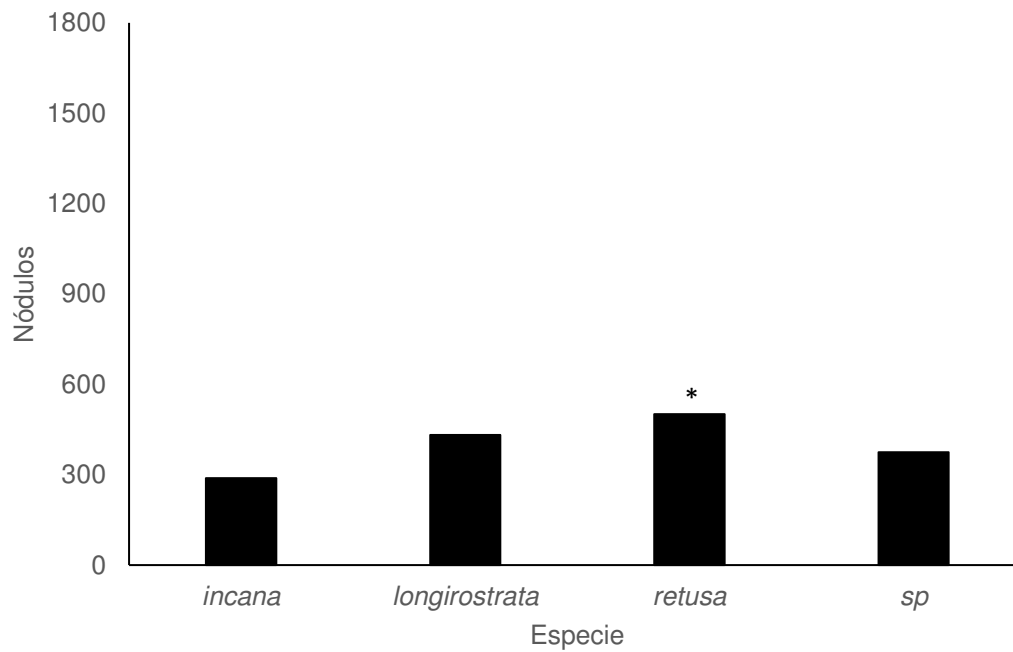


Figura 4. Nódulos formados en las raíces de cuatro especies de *Crotalaria* durante abril de 2020 (día 90). *Especie con mayor diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$, $n = 3$).

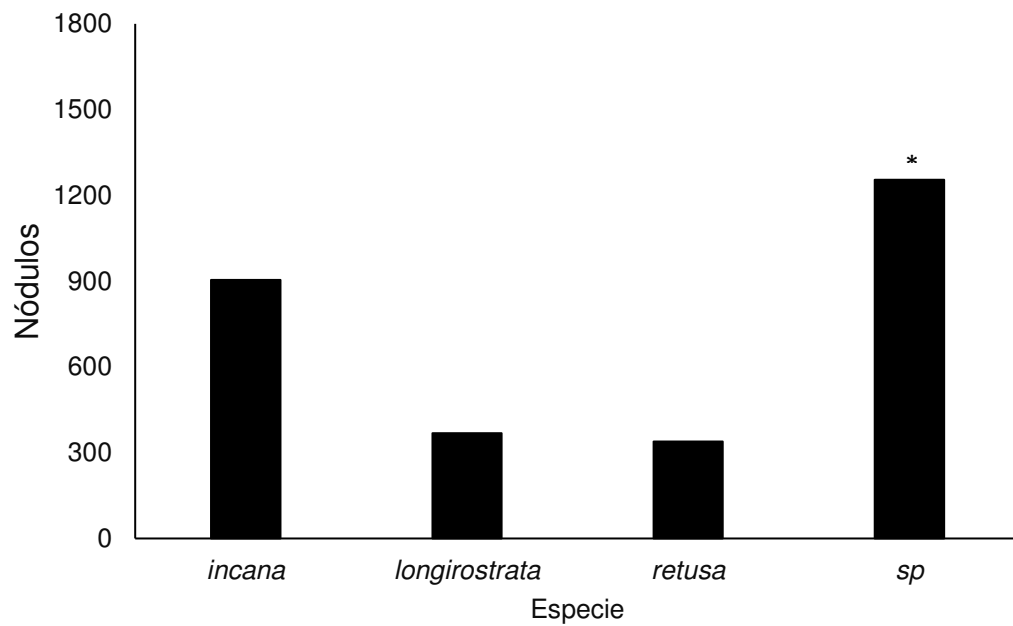


Figura 5. Nódulos formados en las raíces de cuatro especies de *Crotalaria* durante junio de 2020 (día 150). *Especie con mayor diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$, $n = 3$).

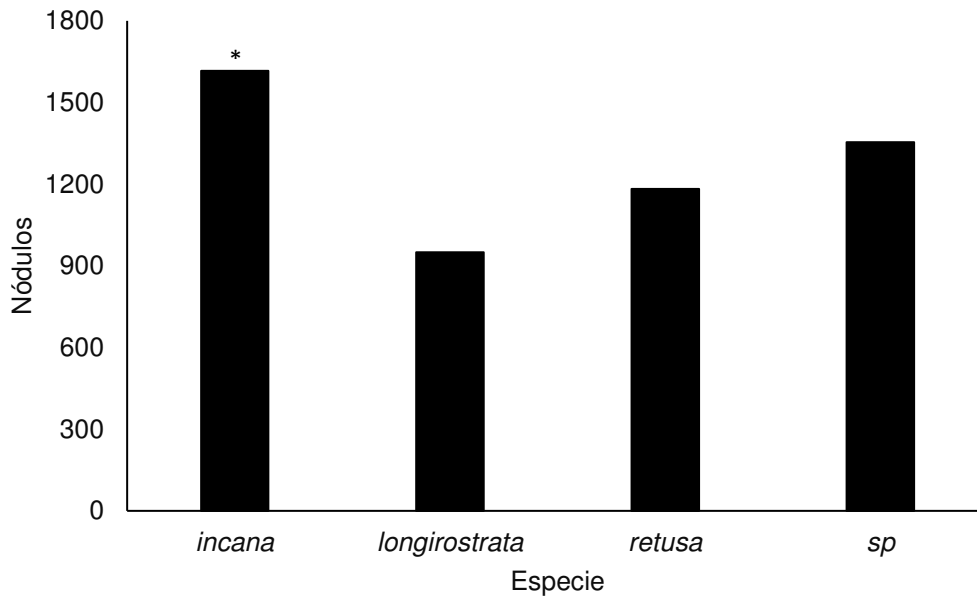


Figura 6. Nódulos formados en las raíces de cuatro especies de *Crotalaria* durante agosto de 2020 (día 210). *Especie con mayor diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$, $n = 3$).

CONCLUSIONES

Las cantidades de biomasa radical y de nódulos están determinadas por la especie, la edad de la planta y por la inundación del suelo. La relación entre cantidad de raíz *versus* cantidad de nódulos fue positiva. *Crotalaria incana* fue la especie silvestre con mejor beneficio simbiótico. La abundante lluvia e inundación durante agosto y septiembre redujo la biomasa radical y también la cantidad de nódulos.

LITERATURA CITADA

- Brady, N.C., and Weil, R.R. 2008. The Nature and Properties of Soils. Fourteenth ed. rev. Pearson Prentice Hall. New Jersey. 975 p.
- Burke, S. 2017. Elements of Ecology. Larsen and Keller Education. USA. 258 p.
- Cano, y CG y Marroquín, de la FJS. 1994. Taxonomía de plantas superiores. 1a. ed. Editorial Trillas, S.A. de C.V. México, D.F. 359 p.
- Coleman D.C., Callaham M., and Crossley Jr D.A. 2018. Fundamentals of Soil Ecology. Third ed. Academic Press. London, UK. 376 p.
- Cooper, J.E., and Scherer, H.W. 2012. Nitrogen Fixation. *In*: Marschner, P. (ed.). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Academic Press Elsevier. Waltham, USA. pp. 389-408.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Bender, K.S., Buckley, D.H. y Sthal, D.A. 2015. Brock. Biología de los Microorganismos. 14a. ed. Pearson Educación S.A. Madrid, Esp. 1136 p.
- SAS (Statistical Analysis Systems). 2005. User's guide, version 9.1.3. SAS Institute, Inc, Cary, NC, USA. 664 p.
- Trujillo-Narcía, A., Rivera-Cruz, M.C., Chávez, A.K., Ramírez, S.K.A., Limón, S.E. y Jiménez, J.J.C. 2018. Variación espacial y temporal de raíces, nódulos y densidad de *Rhizobium* en la leguminosa *Mimosa pigra* L. *In*: Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Agroalimentaria. INIFAP Tabasco. UJAT. Villahermosa, Tab. pp. 619-627.



COMPOSICIÓN QUÍMICA DE DURAMEN Y ALBURA DE *Acacia gaumeri* Bake PROVENIENTE DE YUCATAN, MEXICO

CHEMICAL COMPOSITION OF HEARTWOOD AND SAPWOOD OF *Acacia gaumeri* Bake from YUCATAN, MEXICO

¹*Apolinar Hidalgo F, ¹Aguilar Sánchez P, ¹Honorato Salazar JA, ¹Carrillo Ávila N.

¹Campo Experimental San Martinito, INIFAP. Tlahuapan, Puebla, C.P. 74100, México.
Autor para correspondencia: apolinar.flora@inifap.gob.mx

RESUMEN

La composición química de la madera no se puede determinar con precisión para una especie o para un árbol determinado, la composición varía con la parte del árbol (raíz, tallo o rama), entre coníferas y latifoliadas, en la ubicación geográfica, clima y condiciones del suelo (Pettersen, 1984). Los productos que pueden obtenerse y derivarse de la madera dependen de su composición química. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar, lignina, holocelulosa, α -celulosa hemicelulosa y extractos en etanol-benceno, etanol y en agua de *Acacia gaumeri* Bake. Las determinaciones se realizaron con los procedimientos de las normas TAPPI y ASTM, las muestras se prepararon de acuerdo con la norma TAPPI T264 y la cuantificación de extractos en etanol-benceno, etanol y agua se realizó con la norma TAPPI T204, la determinación de lignina con la norma T222 y las norma ASTM se utilizaron para la determinación de α -celulosa (D1103) y Holocelulosa (D1104), la hemicelulosa se calculó por diferencia de porcentaje. Se aplicó un análisis de varianza a los datos obtenidos, seguido de una comparación múltiple de medias (Tukey $\alpha=0.05$), usando el programa (SAS, 2000). Los resultados del análisis indicaron diferencias significativas ($p\leq 0.05$) en contenido lignina, holocelulosa, α -celulosa, hemicelulosa, en extractos en etanol y agua. Los valores promedio para las muestras de *Acacia gaumeri* Bake fueron de 20.32 a 22.14% para lignina, 62.81 a 64.77 % de holocelulosa, 40.41 a 40.41% de α -celulosa, 21.17 a 23.88% de hemicelulosa y 14.21 a 14.77% de extractos totales.

Palabras clave: *lignina, α -celulosa, hemicelulosa, extractos*

INTRODUCCIÓN

La composición química de la madera está conformada principalmente por carbohidratos y lignina, también están presentes extractos orgánicos y minerales inorgánicos. La porción de carbohidratos de la madera comprende la celulosa (40 a 50%) y la hemicelulosa (25 a 35%), la lignina representa un 18 a 35%, los extractos (4 a 10%), que son una variedad de compuestos orgánicos que incluyen grasas, ceras, alcaloides, proteínas, pectinas, mucílagos, gomas, resinas, terpenos, almidones, saponinas, aceites esenciales entre otros, el porcentaje de extractos pueden ser hasta el 20% en especies tropicales y los minerales orgánicos representa menos del 1% del total de la madera (Pettersen, 1984). La albura y el duramen se distinguen claramente en la sección transversal del tallo a través de diferentes colores como lo señala *Benouadah et al.*, (2018) la parte más oscura del centro de la madera es el duramen y después le sigue la albura que es la parte más clara. Varios autores han revisado las propiedades químicas de la albura y el duramen de diferentes especies, *Carrillo et al.*, (2008) *Tellez et al.*, (2010) *Rutiaga et al.*, (2010) y *Cárdena et al.*, (2018) han reportado para latifoliadas, *Campbell et al.*, (1990) y *Benouadah et al.*, (2018) han descrito para coníferas.

Acacia gaumeri Bake, es una especie tropical endémica del sureste de México, se localiza específicamente en la península de Yucatán, pertenece a la familia de las leguminosas, posee una altura promedio de 8 metros, tiene hojas bipnadas y flores con espiga, forma parte de la selva mediana y de la vegetación secundaria, los usos reportados se dan en la medicina y la parte que se utiliza del árbol son la corteza y la raíz, al igual que los extractos (goma), que sirven para aliviar escalofríos, diarrea y hemorroides, también se utiliza como combustible sólido (IMTA, 1989; Rebollar y Quintanar, 1998). El conocimiento de los patrones de variación dentro de la misma especie hace posible un mayor y mejor aprovechamiento de este recurso forestal. Por lo que es importante conocer la composición química de



esta especie para generar conocimiento y poder explorar aplicaciones químicas, por ello se procesaron muestras para determinar extractos, lignina, holocelulosa, α celulosa y hemicelulosa de *Acacia gaumeri* Bake.

MATERIALES Y METODOS

En este trabajo se analizaron muestras de *Acacia gaumeri* Bake provenientes de residuos forestales del aprovechamiento en el estado de Yucatán. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Materiales Lignocelulósicos del Campo Experimental San Martinito que pertenece al INIFAP, las muestras se cepillaron en un canteador eléctrico mizutti para obtener la viruta, la cual se secó a temperatura ambiente, posteriormente fue molido en un molino tipo Thomas Wiley. El material molido se tamizó en mallas del No. 40 (0.42 mm) y del No. 60 (0.25 mm), el material retenido en la malla 60 se utilizó para realizar las determinaciones de lignina, holocelulosa, α -celulosa y extractivos, se realizaron cuatro repeticiones por muestra.

Para determinar los extractos se utilizó la norma TAPPI 204(TAPPI, 2007) , que consistió en pesar 4 g de madera molida anhídrida en un dedal de extracción, que se colocaron en un sistema de extracción Soxhlet a reflujo por un tiempo de 8 horas con 250 ml de solvente de etanol-benceno (1-2 v/v), después se procedió a lavarlo a vacío con etanol para quitarle los residuos de benceno, posteriormente se extrajo con 250 ml de etanol al 96% por 6 horas, seguidamente se lavó con agua para retirarle los residuos de etanol y finalmente se realizó una extracción con 250 ml de agua destilada por 6 horas, las muestras fueron secadas en una estufa a 105 °C para su pesado. El contenido de extractos se calculó con la siguiente expresión: $\text{Extractos (\%)} = \frac{W_e - W_b}{W_p} * 100$

Donde;

W_e = Peso anhídrido del extracto, g.

W_p =Peso anhídrido de la muestra, g.

W_b =Peso anhídrido del residuo en blanco, g

El contenido de lignina se determinó de acuerdo a la norma TAPPI 222 (TAPPI, 1991 b), se pesó 1 g de muestra molida libre de extractos y se le adicionó 15 ml de ácido sulfúrico al 72% (24 N) con agitación constante en un baño maría a 20°C durante dos horas, inmediatamente se transfirió a un matraz Erlenmeyer con 575 ml de agua destilada. Después, el matraz se conectó a un refrigerante y se mantuvo a ebullición durante 4 horas en una parrilla eléctrica dentro de una campana de extracción de vapores; posteriormente se dejó sedimentar el sólido en una posición inclinada durante 24 horas para su filtración, después la lignina se transfirió a un crisol de filtración y la lignina filtrada se lavó con 100 ml de agua destilada caliente para la eliminación del ácido residual, enseguida se secó en una estufa a 105 °C durante 24 horas para su pesado. El contenido de lignina se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Lignina(\%)} = A \frac{100}{W}$$

Donde;

A = Peso anhídrido de la lignina, g.

W =Peso anhídrido de la muestra, g.

El método para la determinación de holocelulosa se basó en la acción de clorito de sodio y ácido acético en base a la norma ASTM (D1103), se pesaron 2.5 g de madera libre de extractos en matraces Erlenmeyer de 250 ml, enseguida se le adiciono 80 ml de agua destilada caliente, 0.5 ml de ácido acético y 1 g de clorito de sodio, los matraces con la muestra se colocaron en un baño de agua a 75 ± 5 °C durante 1 hora, después de la hora se le añadió otra vez 0.5 ml de ácido acético y 1 g de clorito de sodio, este procedimiento se repitió por 2 veces mas hasta completar un total de 4 horas, al final de la cuarta hora se enfrió las muestras en un recipiente con agua fría debajo de 10 °C. Posteriormente el contenido del matraz de reacción se pasó sobre un crisol de filtrado previamente pesado. Las muestras se lavaron con agua destilada hasta que el color amarillo y el olor a dióxido de cloro desapareció, enseguida se lavó con 150 ml de etanol y acetona. Finalmente se secó en una estufa a 40 °C, el contenido de la holocelulosa se calculó con la siguiente expresión:



$$\text{Holocelulosa (\%)} = \frac{\text{Peso anhidrido del residuo}}{\text{Peso anhidrido de la muestra}} * 100$$

Para la determinación de α -celulosa se utilizó la norma ASTM (D1103), se pesaron 2 g de holocelulosa anhidrida y se colocaron en un vaso de precipitado de 250 ml, a la muestra se le agregó 10 ml de solución de NaOH al 17.5%, se maceró la holocelulosa con una barra de cristal hasta que las partículas se separaron una de las otras, después de que la muestra se le adicionara la primera porción de la solución de NaOH al 17.5%, en intervalos de 5 minutos se agregó 5 ml hasta completar la adición de 25 ml de la solución de NaOH al 17.5%, posteriormente se dejó reposar en un baño de agua a 20 °C por 30 minutos, después se le agregó 33 ml de agua destilada y se permitió reposar por una hora antes de su filtrado. Para el lavado, el residuo de la holocelulosa se transfirió a un crisol de filtrado de peso conocido y se lavó con 100 ml de NaOH al 8.3%. Subsiguientemente se enjuagó con agua destilada y después se le agregó 15 ml de ácido acético al 10% y se dejó reposar por 3 minutos, enseguida se volvió a lavar con 250 ml de agua destilada para retirarle el residuo del ácido acético y finalmente se secó el crisol con la muestra en una estufa a 105 °C. El contenido de lignina se calculó con la siguiente expresión:

$$\alpha\text{-Celulosa(\%)} = \frac{\text{Peso anhidrido de residuo de celulosa}}{\text{Peso anhidrido de la muestra holocelulosa}} * 100$$

La determinación de la hemicelulosa se calculó como la diferencia del contenido de holocelulosa y α -celulosa. Los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una comparación múltiple de medias con el procedimiento de Tukey ($\alpha = 0.05$) con el estadístico SAS (2000).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos mostraron que hay diferencias significativas en las determinaciones de lignina, holocelulosa, α celulosa, hemicelulosa y extractos (cuadro 1). En los resultados de lignina se encontró que el duramen (22.14 %) es mayor en porcentaje respecto a la albura (20.32 %), al igual en la holocelulosa (64.77 % duramen y 63.50% albura) y la hemicelulosa (23.88 % duramen y 23.08% lbura) y en lo que respecta a la α celulosa la mezcla es de mayor contenido con 41.63%.

Cuadro 1. Componentes químicos principales de *Acacia gaumeri* Bake

Especie		*Lignina %	*Holocelulosa %	* α Celulosa %	Hemicelulosa %
<i>A. gaumeri</i> Bake	Duramen	22.14 a	64.77a	40.88 b	23.88 a
	Albura	20.32 c	63.50 b	40.41 b	23.08 b
	Mezcla	21.44 b	62.81 c	41.63 a	21.17 c

* Con base al peso anhidro,

† Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

El porcentaje encontrado de lignina en albura fue 20.32%, duramen 22.14% y mezcla 21.44%, valores mayores fueron reportados para *Dalbergia granadillo* (26.24% albura, 26.50% duramen), *Platymiscium lasiocarpum* (25.95% albura y 25.65% duramen) (Rutiaga *et al.*, 2010), Téllez *et al.*, (2011) destacó un 34.2% de lignina en duramen para *Andira inermis* y Coello (2006) reportó para 3 especies de Eucaliptos (19.87 a 23.03% albura y 19.52 a 22.56% duramen).

En lo que respecta a la holocelulosa, Barahana (2005) reportó para *Eucalyptus globulus* (82.81 a 83.07% albura y 82.94 a 83.08% duramen), Coello (2006) reportó para Eucaliptos (46.17 a 80.90% albura, 42.78 a 68.41% duramen), Valverde *et al.*, (2020) encontró valores totales de 75.67 a 84.41%



para *Junglas Neotropicana* y Cárdenas *et al.*, (2018) reportó valores de 74.99 a 75.32% para especies de *Alnus* y 78.51 a 86.20% para especies de *Quercus*, estos valores son mayores a los reportados en este estudio (62.81 a 64.77%), pero son menores los reportados por Rutiaga *et al.*, (2010) para *Dalbergia granadillo* (50.66% albura, 49.65% duramen) y *Platymiscium lasiocarpum* (53.26% albura, 55.25 duramen).

La cantidad de celulosa encontrada en albura fue de 40.41%, en duramen 40.88% y mezcla 41.63%, valores mayores fueron reportados para *Eucalyptus globulus* (44.47 a 49.58% albura y 44.69 a 44.95% duramen) (Barahona, 2005), para varias especies de *Quercus* (51.99 a 56.56%) y *Alnus* (51.85 a 52.95%) (Cárdenas *et al.*, 2018).

El contenido de hemicelulosa obtenidos fue 23.08% para albura, 23.88% duramen y 21.17% en mezcla, datos similares fueron reportados por Leal *et al.*, (2011) para *Eucalyptus grandis* (17.33 a 23.19 %).

Los valores encontrados en los extractos totales se observó que no hay diferencias significativas en albura, duramen y mezcla, pero si hay diferencia en etanol y agua en la parte de albura y duramen, en etanol la albura contiene mayor extracto (0.7357 %) y en el duramen es mayor en agua (1.83%), (cuadro 2).

Cuadro 2. Extractivos de *Acacia gaumeri* Bake

Especie		Etanol-benceno %	Etanol %	Agua %	Extractos totales %
<i>A. gaumeri</i> Bake	Duramen	12.34 a	0.29 c	1.83 a	14.21a
	Albura	12.95 a	0.73 a	0.83 b	14.31 a
	Mezcla	12.83 a	0.340 b	1.87 a	14.77 a

* Con base al peso anhidro,

† Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Leal *et al.*, (2011) reportó valores de extractos de 3.06 a 8.08% (etanol-benceno) y 2.16 a 8.08% (agua) para *Eucalyptus grandis*, estos valores son menores a los encontrados en este estudio para etanol-benceno y mayores para agua, otros autores han reportado extractos en albura y duramen (26.93 a 33.35% duramen, 10.19 a 14.6 albura) (Rutiaga *et al.*, 2010), Barahona (2005) (2.82 a 3.8% duramen, 1.44 a 2.27% albura) y Carrillo *et al.*, (2008) (14.1 a 31.4% duramen), Cárdenas *et al.*, (2008) Téllez *et al.*, (2010) y Valverde (2020) han reportado valores por árbol de 7 a 15.3%, 19.1%, 4.53 a 7.16% respectivamente.

CONCLUSIONES

La composición química de *Acacia gaumeri* Bake en albura y duramen en general son similares a los reportados por otros autores. El duramen tiene mayor contenido de lignina (22.14%), holocelulosa (64.77%) y hemicelulosa (23.88%) respecto a la albura, en los extractos en etanol se encontró que la albura es mayor (0.73%) y en agua es el duramen (1.83%) con estos datos se apreció un aumento en la composición química de duramen a albura. En general, los valores la composición química y extractivos permite considerarla para la obtención de productos químicos.

LITERATURA CITADA

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1977. Method of Test for Holocellulose in Wood ASTM D1104 – 56. Annual book of ASTM standards. Part 22: Wood; Adhesives. Pennsylvania: ASTM. pp 346-348.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1977. Method of test for alpha- cellulose in Wood, ASTM D103 - 60. Annual book of ASTM standards. Part 22: Wood; adhesives. West Conshohocken, PA, USA. pp. 343-345



- Barahona-Olmos, G.L. 2005. Variación de la composición química en albura, duramen y altura de madera pulvable de *Eucalyptus globulus* proveniente de monte alto y monte bajo. Tesis de licenciatura universidad de Chile, Santiago, Chile, 43 p
- Benouadah, N., Aliouche, D., Pranovich, A., Willför. 2018. Chemical characterization of *Pinus halepensis* sapwood and heartwood. Wood Material Science and Engineering.
- Cárdenas, G.M.A., Pedraza, B.F.E., Albarrán, L.P., Rutiaga, Q.J.G. 2018. Chemical components of the branches of six hardwood species. Wood research, 63:5, 795-808
- Carrillo, A., Mayer, I., Koch, G., Hapla, F. 2008. Wood anatomical characteristics and chemical composition of *Prosopis laevigata* grown in the northeast of Mexico. IAWA Journal, 29:1, 25–34.
- Coello- Ruiz. I. 2006 Composición química de la madera de tres especies de Eucalipto, Tesis de maestría, universidad michoacana de san Nicolás, Morelia, Michoacán, 41 p.
- Instituto mexicano de tecnología del agua (IMTA) 1989. La flora más representativa del oriente de Yucatán) sus usos e importancia, p 57.
- Leal, L. E., Juárez, V., Terán, M. 2011. Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden* procedente de Finca Las Maravillas. Revista de Ciencias Forestales, 19: 1-2, 75-83
- Petterson, R. 1984. The Chemical Composition of Wood, chapter 2. American Chemical Society, pp.57.
- Rebollar, S. y Quintanar, A. 1998. Anatomía y usos de la madera de ocho especies tropicales de Quintana Roo, México. Rev. Biol. Trop. 46:4, 1047-1057.
- Rutiaga, Q.J.G., Pedraza, B.F.G., López, A.P. 2010. Componentes químicos principales de la madera de *Dalbergia granadillo* Pittier y de *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16:2, 179-186.
- SAS Institute Inc. (SAS). 2000. The SAS System for Windows (Version 8.0 for Windows). Cary, NC. USA.
- Technical association of the Pulp and Paper industry (TAPPI) 1991a. Preparation of wood for chemical analysis. T 264 om-88. TAPPI Test Methods. Vol.1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical association of the Pulp and Paper industry (TAPPI). 1991b. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 om-88 TAPPI. Test Methods. Vol.1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. P/sn
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 2007. Solvent extractives of wood and pulp. T 204 cm-97. TAPPI Test Methods. Fibrous Materials and Pulp Testing. Versión CD, Atlanta, GA., EUA. 4 p.
- Téllez, S. C., Ochoa, R. H.G., Sanjuan, D.R., Rutiaga, Q.J.G. 2010. Componentes químicos del duramen de *Andira inermis* (W. Wright) DC. (Leguminosae). Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16:1, 87-93.
- Valverde, R. J. X., Jumbo, B. N.C., Fernández, G. P. V., González, R. J.B., Iñiguez, O. D.P., Pucha, C. D.A. 2020. Composición química de la madera de *Juglans Neotropica* Diels y su relación con las propiedades químicas del suelo en la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe. Revista Investigación Agraria. 2:3, 68 – 82



EVALUACIÓN PRELIMINAR DE NUTRIMENTOS, NANOPARTICULAS Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN EL CRECIMIENTO DE PATRONES DE CACAO

PRELIMINARY EVALUATION OF NUTRIENTS, NANOPARTICLES AND GIBBERELLIC ACID IN THE GROWTH OF COCOA PATTERNS

Urbano Cruz M A¹, Azpeitia Morales A^{2*}, ³Barrientos Juárez E, ⁴Abarca Córdova J, ⁴Vázquez Hernández L.

¹Tesista del Instituto Tecnológico de Huimanguillo, ²Investigador del INIFAP en el Campo Experimental Huimanguillo. ³Investigador del INIFAP en el campo experimental La campana, Chihuahua, ⁴Profesores-Investigadores del Instituto tecnológico de Huimanguillo.
Autor para correspondencia: azpeitia.alfonso@inifap.gob.mx

RESUMEN

La producción en México de grano de cacao seco es de 29,445 t, con un rendimiento promedio de 500 kg ha⁻¹. En Tabasco existen 40,923.26 ha, donde se producen 18,298 t, y en Chiapas hay 18,475.90 ha que producen 9,870 t. En la actualidad, la mayoría de las plantaciones ha rebasado su vida productiva, muchas de ellas con más de 90 años. El cacao generalmente es propagado por semilla, sin embargo, es ideal establecer plantaciones clonales a través de injerto para incrementar rendimiento y calidad de grano. Esta practica es limitada debido a que se requiere cerca de un año en vivero para la producción de un patrón y su injertación. Actualmente la investigación en nutrición de patrones de cacao es escasa, por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo: evaluar diferentes fertilizantes compuestos incluyendo nanopartículas y ácido giberélico (AG₃) para reducir el periodo de cultivo de plantas de patrones de cacao. Los resultados mostraron que una de las variables medidas más importantes lo constituye el diámetro del tallo ya que este es el indicador principal para realizar los injertos de cacao. Aplicaciones foliares cada 30 días de fertilizante compuesto 10-10-43 en una dosis baja de 250 mg en 500 ml de agua, permitió desarrollar patrones propicios para la injertación con un diámetro del tallo de aproximadamente 5 mm a los 60 días y a los 120 días alcanzaron un diámetro superior a los 6 mm. Los tratamientos con nanopartículas y AG₃ son funcionales, pero hasta los 120 días. Los resultados mostraron con el uso del fertilizante compuesto 10-10-43 es posible acortar el periodo de cultivo de 12 meses a nueve meses, considerando tres meses para la formación de patrones y seis meses del crecimiento del injerto.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., fertilizantes compuestos, patrones de cacao.

INTRODUCCION: El cacao es un cultivo que se encuentra establecido en los trópicos húmedos. En México, las plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) ocupan una superficie de 59,655.16 ha (SIAP, 2020), los cuales se propagan por semilla (Azpeitia, 2019). La producción nacional de grano de cacao seco es cercana a 29,445.02 t, con un rendimiento promedio de 500 kg ha⁻¹. En Tabasco existen 40,923.26 ha, donde se producen 18,298 t, y en Chiapas hay 18,475.90 ha que producen 9,870 t (SIAP, 2020).

El cacao, está presente en los trópicos húmedos de clima cálido, con temperatura media anual de 27 °C, precipitación pluvial entre 1,150 y 2,500 mm y una altitud máxima de 500 metros sobre el nivel del mar (Waizel, *et al.*, 2012). Su cultivo esta distribuido en más de 50 países ubicados en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía) (Arvelo *et al.*, 2017).

En la actualidad, los métodos mas empleados para la producción de plantas son a través de semilla y por medio de injerto. Sin embargo, el empleo de la injertación para el establecimiento de nuevas plantaciones es limitado debido al tiempo prolongado del mantenimiento del patrón en vivero de aproximadamente seis meses de cultivo y su posterior injertación y cultivo de hasta seis meses para que la planta esta lista para establecerse en campo. Es este sentido, el tiempo de obtención de una



planta injertada es de un año aproximadamente. Gómez y Vásquez (2011) mencionan que las plántulas de cacao procedentes de semilla permanecen de cinco a seis meses en el vivero. En muchos casos no alcanzan el vigor necesario para su siembra (40 cm de altura) ocasionado por manejo inadecuado del riego, de la fertilización y de sustratos, entre otros, lo que se indica que, al utilizar un sustrato pobre en nutrimentos, la altura de planta no será la ideal para el trasplante.

La fertilización mineral, la orgánica, o una combinación de ambas, debe realizarse para que la planta esté fuerte y vigorosa, sin deficiencias nutricionales. Las plántulas de cacao en vivero por lo general presentan síntomas de deficiencia de nutrimentos, como: nitrógeno (N), fósforo (P) potasio (K), magnesio (Mg), hierro (Fe) y boro (Br), debido a la utilización de sustratos de baja fertilidad o con desbalances en sus componentes (León, 2020). Generalmente en plantas de vivero, no se hace uso del análisis químico para la aplicación oportuna de elementos que son deficientes, debido a la corta permanencia de las plántulas en vivero, por lo que se debe hacer aplicaciones edáficas o foliares (Corpoica 2007).

En vivero la obtención de plantas mal desarrolladas, susceptibles al ataque de plagas, se debe en gran medida a la incorrecta utilización de los fertilizantes en cuanto fuente, dosis, momento y forma, disminuyendo a futuro la capacidad productiva de la plantación. El uso de fertilizantes de liberación controlada son una alternativa poco empleada (Melgar, 2012), su elevado costo y la poca investigación sobre su eficiencia, hacen que su uso sea muy limitado (Enríquez, *et al.* 2018)

En la aplicación de fertilizantes químicos para sustratos con bajos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio, se recomienda hacer aplicaciones foliares de urea en dosis de 100 gramos en 20 litros de agua en plántulas de 45 días. A los 75 días de edad de las plántulas se deben hacer aplicaciones de nitrógeno, fósforo y potasio, en una relación 15-45-30 de los tres elementos, respectivamente. Esto significa que se pueden suministrar 3 gr de N, 9 gr de P y 6 gr de K, para plántulas que crecen en bolsas de 3 kilogramos de sustrato (Palencia *et al.*, 2009). Los nutrimentos que en mayor cantidad extrae la planta son el nitrógeno, el potasio, el fósforo, el calcio y el magnesio. Se puede señalar que el nitrógeno interviene directamente en el crecimiento y desarrollo de la planta, el fósforo favorece el desarrollo del sistema radicular, el crecimiento y desarrollo de la planta y el potasio es imprescindible para la floración y fructificación. Experiencias realizadas han demostrado que la fertilización orgánica es muy beneficiosa cuando se aplica en la fase de vivero, por lo que siempre que sea posible debe utilizarse materia orgánica, que ha demostrado buen efecto como estimuladores de crecimiento en la fase de vivero. Como resultado de aplicaciones de materia orgánica se ha determinado que la altura total fue superior en el tratamiento con ase de estiércol con 34.68 cm, el diámetro de tallo fue mayor en el tratamiento con gallinaza con 8.38 cm, la cantidad de hojas fue mejor con estiércol con 22.83, el cual se concluyó que los patrones de cacao crecidos en sustrato con estiércol favorecieron su crecimiento (Lliuya, 2015). Los resultados obtenidos en Perú por León (2020), el tratamiento a base de compost + tierra negra + arena, obtuvo los mayores valores al finalizar el ensayo en las variables altura de planta (33,8 cm), diámetro de tallo (8.3 mm), área foliar (124 cm²) y número de hojas (19).

La producción de patrones de calidad implica la realización de estudios nutricionales. Por ejemplo, en Colombia, Santiago *et al.* (2016) describieron el efecto de diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K sobre algunos parámetros biométricos indicadores de calidad de material vegetal del clon IMC 67.

Por otra parte, el uso de ácido giberélico ha sido reportado que beneficia el proceso de germinación y favorece la elongación celular, como resultado plantas de mayor longitud. Esta fitohormona promueve el crecimiento y elongación celular y se utiliza en bajas concentraciones (Olmedo, 2015). En nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotz) la altura de las plantas se incrementó de 15 a 20%, cuando se aplicó en una ocasión y de 21 a 30% y cuando se realizó en dos ocasiones a partir de dosis de 2 mg L⁻¹ (Alia-Tejagal *et al.* 2011).

Recientemente el uso de nanopartículas de Hierro, son aplicadas en cultivos agrícolas donde han mostrado su influencia en el crecimiento y rendimiento. Estas son una nueva clase de materiales (sean cerámicos, metales, semiconductores, polímeros, o bien, una combinación de estos), en donde por lo



menos una de sus dimensiones se encuentra entre 1 y 100 nm. Los tamaños de las partículas de materiales inorgánicos, tales como sulfato, amonio, nitrato, cloruro y compuestos orgánicos van desde 50 nm a 2 micras, con un tamaño medio de aproximadamente 100 nm. Las propiedades y efectos de las partículas y materiales a nanoescala son diferentes de las partículas más grandes con igual composición química. Las nanopartículas pueden tener una mayor reactividad química y ser más bioactivas que las partículas más grandes, por su tamaño, tienen mayor acceso a cualquier cuerpo y tienen probabilidad de entrar en células, tejidos y órganos. Actualmente se está estudiando su empleo como revestimientos de fertilizantes de liberación controlada (Martínez, 2015).

La investigación en nutrición de patrones de cacao es escasa, por lo que en el presente trabajo la hipótesis planteada fue: Es posible encontrar un tratamiento a base de algún fertilizante compuesto, nanopartículas o ácido giberélico que permita acortar su periodo de cultivo en vivero. Así mismo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes fertilizantes compuestos incluyendo nanopartículas y ácido giberélico (AG₃) para reducir el periodo de cultivo de plantas de patrones de cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS: Esta investigación se llevó a cabo en la biofábrica del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del Campo Experimental Huimanguillo, que se encuentra ubicado en el km 1 de la carretera Huimanguillo-Cárdenas en latitud norte 17° 19' y longitud oeste 93° 23', a 29 msnm. El presente trabajo se realizó durante los meses de agosto de 2017 a diciembre del 2018.

Diseño experimental. El presente trabajo se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar, con ocho tratamientos incluyendo un testigo (Cuadro 1) y 42 repeticiones haciendo un total de 336 bolsas de vivero. Las bolsas se llenaron con un suelo limoso y fueron colocadas dentro de la biofábrica en filas de seis bolsas donde fueron sembradas las semillas con el genotipo Olmeca. Los tratamientos utilizados fueron: 1) Testigo, 2)10-10-43, 3) 19-19-19, 4) 12-12-17, 5) 12-61-00, 6)17-17-17, 7) Nanofertilizante, 8) ácido giberélico (AG₃).

Cuadro 1. Tratamientos y dosis utilizados.

Tratamientos	Dosis (miligramos)	Agua (mililitros)
Testigo	-	500
10-10-43	250	500
19-19-19	250	500
12-12-17	250	500
12-61-00	250	500
17-17-17	250	500
Nanopartículas	250	500
AG ₃	250	500

Aplicación de tratamientos. Previo a la siembra, las semillas se dejaron en imbibición durante 24 horas y posteriormente se procedió a sembrarlas. Estas semillas se imbibieron en 500 ml de agua a la cual se le adicionó una dosis de 250 mg correspondiente a cada tratamiento. Posteriormente fueron realizadas aplicaciones foliares de cada tratamiento cada 30 días por un periodo de 120 días. Los fertilizantes compuestos que fueron utilizados son de uso comercial, las nanopartículas ferritas magnéticas (Mn_xFe₃-XO₄) fueron proporcionadas por el laboratorio de nanotecnología del INIFAP ubicado en Cd Aldama Chihuahua. El GA₃ utilizado fue de grado reactivo mca. SIGMA.



VARIABLES A MEDIR. Cada 30 días fue evaluada la altura, diámetro del tallo y número de hojas. La altura fue registrada con una cinta métrica y el diámetro del tallo con un vernier digital marca Stainless hardened.

ANÁLISIS DE RESULTADOS. Los resultados fueron analizados por análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey (0.5).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta. Durante los 30 días de cultivo no hubo diferencias entre tratamientos, sin embargo, a los 60 días el tratamiento a base de GA₃ fue superior estadísticamente al resto de tratamientos, con 23 cm alcanzados en 30 días. Superando en más de 10 cm de diferencia en comparación con los demás tratamientos incluyendo el testigo. A los 60 días fue superior estadísticamente el tratamiento con GA₃, sin embargo, el tratamiento con fertilizante compuesto 10-10-43 mostró un crecimiento importante en comparación al resto de los tratamientos. Durante los 90 días, el tratamiento con GA₃ fue superior estadísticamente al resto de los tratamientos, seguido por el fertilizante compuesto 10-10-43. Este mismo comportamiento se presentó a los 120 días, el tratamiento de GA₃ alcanzó 39.5 cm de altura siendo superior estadísticamente al resto de tratamientos, mientras que el fertilizante compuesto 10-10-43 presentó cerca de 35 cm, ambos tratamientos superaron ampliamente al testigo con casi 4 cm y 8 cm respectivamente (Figura 1).

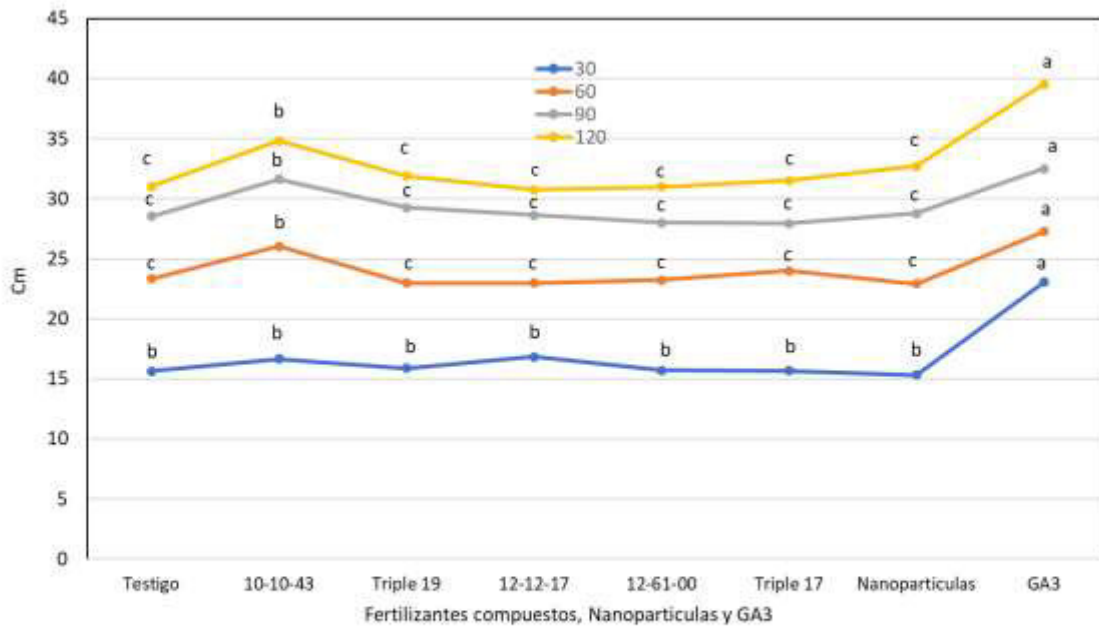


Figura 1. Altura de patrones de cacao alcanzado durante los 30, 60, 90 y 120 días con diferentes fuentes de nutrimentos compuestos, nanopartículas y ácido giberélico (GA₃). Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente, Tukey 0.05 (n= 42).

Los resultados han mostrado que los patrones de cacao pueden alcanzar un desarrollo adecuado para su injertación a partir de los 90 días para el tratamiento a base de GA₃ y fertilizante compuesto 10-10-43 en comparación con el tratamiento testigo las cuales se observó menor crecimiento. Estos resultados son similares a los reportados por Lliuya (2015) la cual indica alturas de 34.68 cm en un tratamiento a



base de estiércol. Así mismo León (2020), indica crecimiento de patrones de cacao a los 120 días de 33.8 cm en un tratamiento a base de compost + tierra negra + arena.

Diámetro del tallo de la planta. A los 30 días, el diámetro del tallo no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, osciló en aproximadamente 3 mm. Para los 60 días no se mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos, pero se observó una tendencia de mayor diámetro en el tratamiento con el fertilizante compuesto 10-10-43, mostrando casi 5 mm. A los 90 días, el fertilizante compuesto 10-10-43 fue superior estadísticamente al resto de tratamientos superando al testigo, misma respuesta se mostró a los 120 días, donde el tratamiento con el fertilizante compuesto 10-10-43 fue

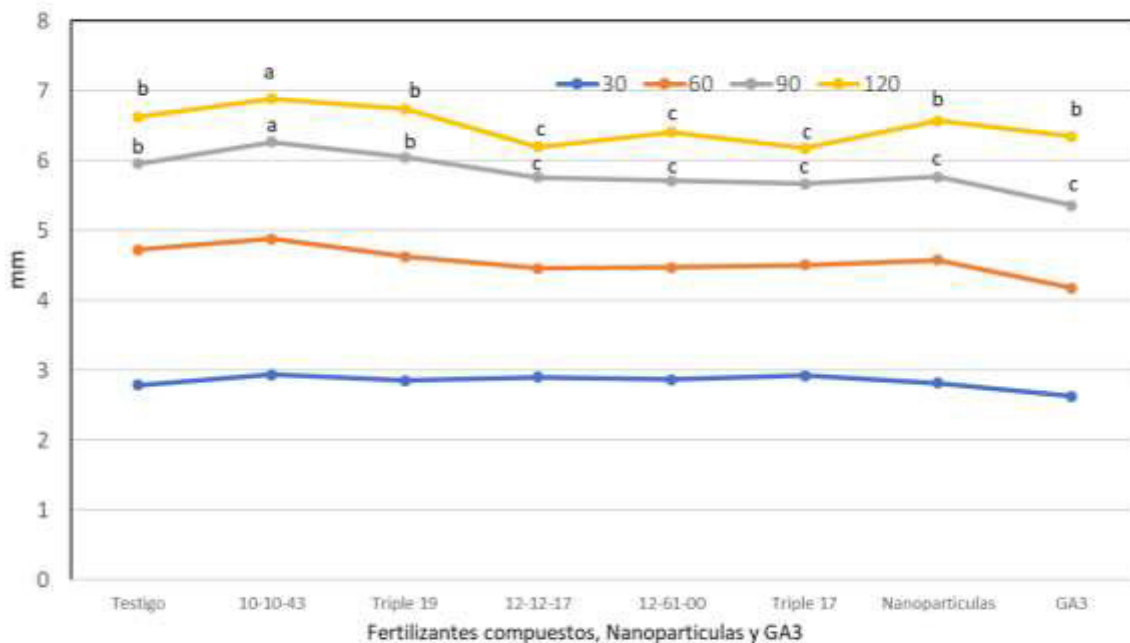
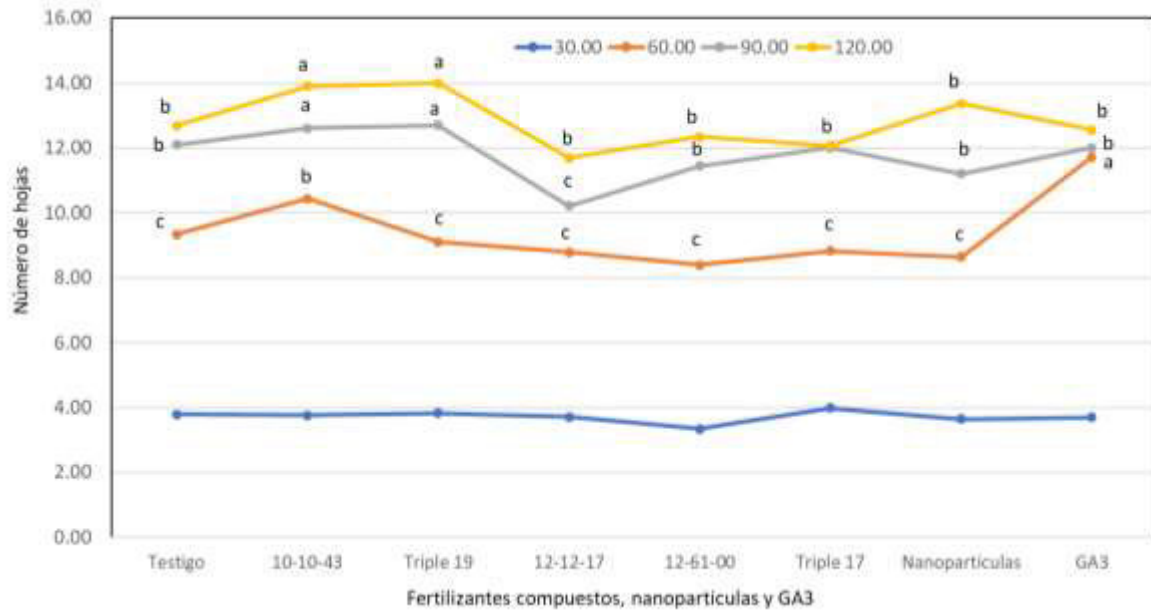


Figura 2. Diámetro de tallo en patrones de cacao alcanzado durante los 30, 60, 90 y 120 días con diferentes fuentes de fertilizantes compuestos, nanopartículas y ácido giberélico (GA₃). Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente, Tukey 0.05 (n= 42).

superior estadísticamente a los demás tratamientos, donde alcanzó casi 7 mm superando al control. Cabe indicar que es importante notar que el tratamiento testigo, con nanopartículas y GA₃, son iguales estadísticamente (Figura 2).

En referencia al diámetro del tallo en los patrones de cacao, los resultados mostrados indican que a los 90 días se puede realizar la injertación de patrones de cacao con el tratamiento con base al fertilizante 10-10-43 ya que superan el grosor recomendado de 5 mm para realizar esta práctica. Reportes previos indican diámetros de aproximadamente 8 mm a los 120 días (Lliuya, 2015; León, 2020), aunque los valores máximos encontrados en este trabajo son de cerca de los 7 mm, estos resultados son muy similares a los reportes citados.

Número de hojas. A los 30 días no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, el número de hojas osciló entre 2.8 y 3 hojas. A los 60 días es importante observar que el tratamiento con GA₃ es superior estadísticamente con 11.71 contra 9.33 del tratamiento control. Para los 90 días los tratamientos con fertilizantes compuestos 10-10-43 y triple 19 presentaron 12.61 y 12.60 hojas respectivamente, siendo superiores estadísticamente al control, el cual presentó 12 hojas. Por último, a



los 120 días, los tratamientos con fertilizantes compuestos 10-10-43 y triple 19 presentaron 13.90 y 14 hojas respectivamente, siendo superiores estadísticamente al control, el cual presentó 12.69 hojas (Figura 3). En la Figura 4 se muestran las plantas de patrones de cacao correspondientes a cada tratamiento.



Figura 4. De izquierda a derecha, Tratamiento testigo, fertilizante compuesto 12-12-43, Triple 19, fertilizante compuesto 12-12-17, 12-61-00. triple 17. nanopartículas v ácido abscísico (GA_3).



Reportes previos en referencia al número de hojas han indicado que los patrones de cacao alcanzan 22.83 y 19 (Lliuya, 2015; León, 2020), estos valores son diferentes a los encontrados en este trabajo ya que los valores máximos cuantificados fueron de 14 hojas. Esta diferencia puede ser debida a la variación genotípica. En este trabajo, las semillas del patrón utilizado fueron Olmeca, mientras que para los genotipos reportados son IMC 67 y CCN-51 respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Con base a la metodología utilizada y genotipo de cacao, se puede concluir que una de las variables medidas más importantes lo constituye el diámetro del tallo ya que este es el indicador principal para realizar los injertos de cacao.

2. A pesar de utilizar una dosis baja de fertilizante, fue posible acortar el periodo de cultivo de patrones para su injertación a los 60 días de cultivo con base a aplicaciones de fertilizante compuesto 10-10-43 ya que permitió desarrollar un diámetro del tallo de aproximadamente 5 mm, sin embargo, a los tres meses alcanza un diámetro superior a los 6 mm.

3. El uso de otros tratamientos como las nanopartículas y AG₃ son funcionales, pero hasta los 120 días.

4. En todos los tratamientos, fue utilizada una cantidad de 250 mg diluidos en 500 ml de agua por lo que es necesario optimizar los tratamientos con base al fertilizante compuesto 10-10-43, nanopartículas y GA₃, así como su aplicación en plantas recién injertadas para acortar el tiempo de permanencia en vivero.

5. Con la aplicación del fertilizante compuesto 10-10-43 es posible acortar el periodo de cultivo de 12 meses a nueve meses, considerando tres meses para la formación de patrones y seis meses del crecimiento del injerto.

LITERATURA CITADA

- Alia-Tejacal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Campos-Bravo, E., Sainz-Aispuro, M. De J., Pérez-Arias, G. A., Colinas-León, M. T. et al. (2011). Efecto de la aspersión de ácido giberélico en el crecimiento de cinco cultivares de nochebuena. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3: 577-589.
- Arvelo, M. Á., González, D. L., Delgado, T. L., y Maroto, S. A. 2017. Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo del cacao en América. México: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 154 p.
- Azpeitia, M. A. 2019. Olmeca: híbrido de cacao para alto rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8): 1999-2003, <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2054>
- Corpoica, 2007. Escalamiento, validación y ajuste de tecnologías para la producción masiva de plantas clonales de cacao. Cali Colombia. 78 p.
- Gildardo E, Palencia C, Gómez S R. Gúiza P O. 2009. Nuevas tecnologías para instalar viveros y producir clones de cacao (*Theobroma cacao* L). Corpoica, 32 p.
- Enríquez J. F., Castro Cristian C. C. y Jiménez P. P. 2018. Caracterización de los efectos el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao*) en vivero. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 2 (5): 101-116 p.
- Gómez, D.; Vásquez, M. 2011. Abonos orgánicos. Serie: Producción orgánica de hortalizas en clima templado. Alimentos Sanos Orgánicos de Productores de Lepaterique (ASOPROL). Tegucigalpa, Honduras, 17 p.
- Martínez, R. L. 2015. Micromorfología de tallo y raíz de plantas de Maíz y Frijol tratadas con Nanopartículas de Titanio, Hierro y Zinc, bajo invernadero. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de Agronomía, 74 p.
- Melgar R. 2012. Nuevas Tecnologías en el uso eficiente de fertilizantes nitrogenados. Instituto Nacional de tecnología agropecuaria-INTA. In Simposio Internacional: manejo y uso eficiente de fertilizantes. Buenos Aires. AR. pp 1-59
- León Cantalicio I. T. 2020. Influencia de la adición de tres dosis de NPK durante la etapa de vivero del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Aguaytía. Ucayali, Perú. Tesis de



-
- licenciatura. a Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, Perú. 56 p.
- Olmedo, D. F. 2015. Evaluación de dos dosis de Acido Giberelico en la productividad del tomate de árbol *Solanum betaceum* en las cuatro fases lunares, provincia Pichincha, parroquia Checa. Guaranda, Ecuador: Universidad Estatal de Bolívar Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente. 75 p.
- Santiago, M.A., I.R. Canacuan, J.J. Franco, W. Bohórquez y J.C. Fernández. 2016. Determinación de los estados críticos de nutrientes de cacao en etapa de vivero. pp. 191-204. En: Construyendo investigación: semilleros generadores de ideas. Ediciones Unisalle, Bogotá, Colombia.
- Waizel, S. H., Waizel, J. B., Magaña, J. A., y Campos, P. B. 2012. Cacao y chocolate: Seducción y terapéutica. Anales Médicos, 236 - 245.

REFERENCIAS INFORMATICAS

SIAP, 2020. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 20 de abril de 2021).



VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO CAMBISOL CULTIVADO CON CACAO (*Theobroma Cacao L.*)

SPATIAL VARIABILITY OF SOME CHEMICAL PROPERTIES OF A CAMBISOL SOIL CULTIVATED WITH COCOA (*Theobroma Cacao L.*)

¹Salgado Velázquez, S., ¹Salgado García, S.; ¹Palma López, D.J.; ¹Zavala Cruz, J.; ²Córdova Sánchez, S.; ¹Rincón Ramírez, J.A.; ¹Ortiz García, C.F., ¹Hernández Nátaren, E.

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Producción Agroalimentaria Tropical. Km. 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N. H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México. ²Universidad Popular de la Chontalpa. Cuerpo Académico de Química Verde y Desarrollo Sostenible (CA-QVyDS). Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500.

Autor de correspondencia: salgados@colpos.mx

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de un suelo cambisol para establecer zonas específicas de manejo agronómico para el cultivo de cacao. Se realizó un muestreo de 42 puntos georreferenciados equidistantes a 40 m. Con los resultados del análisis químico de las propiedades del suelo se realizaron los mapas de variabilidad geoestadística, utilizando la técnica de interpolación kriging ordinario. Se encontró que el porcentaje de saturación de aluminio (PSA), Acidez e H presentaron alta variabilidad; P-Olsen, K, Ca y Mg variabilidad mediana, y el pH, MO, CIC y Al presentaron baja variabilidad. Las propiedades del suelo pH, PSA; P-Olsen, Ca y Mg presentaron alta dependencia espacial (<25%) y MO, K y CIC moderada dependencia espacial (25-75%). Los mapas generados permitieron identificar áreas parciales con diferente variabilidad, así como la dirección de mayor variabilidad de la propiedad en función de la distancia. Con los mapas fue posible realizar recomendaciones de manejo agronómico en función de cada zona de manejo específica.

Palabras clave: *variabilidad, espacial, cacao, kriging, variograma*

INTRODUCCIÓN

La variabilidad de las propiedades químicas y físicas del suelo es una condición inherente al mismo, debido a que en su formación intervienen varios procesos que, a su vez, están controlados por los factores de formación (clima, material parental, organismos, relieve y tiempo) (Jaramillo, 2011). En el estado de Tabasco, se está expandiendo el área cultivada con cacao de alta densidad de plantación lo que implicará en un futuro un mayor consumo de nutrientes. Al no contar con estudios en el manejo de la variabilidad espacial de las propiedades químicas de los suelos, se planteó el objetivo de evaluar la variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de un suelo Cambisol para establecer zonas específicas de manejo agronómico para el cultivo de cacao, lo que permitirá hacer un uso adecuado de los fertilizantes y contribuir a mejorar o mantener la fertilidad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó de septiembre a diciembre de 2015, en un predio de 7 ha cultivado con cacao de alta densidad con el clon INIFAP 8 (2700 plantas ha⁻¹), y con riego por goteo, ubicado en la rancharía Caobanal 2da. Sección, en el municipio de Huimanguillo, Tabasco.

Los sitios de muestreo se establecieron a partir de una cuadrícula de 42 nodos equidistantes a 40 m trazados en gabinete los cuales fueron posteriormente replanteados en campo con un sistema geoposicionador de precisión submétrica. Se colectaron las muestras de 0 a 30 cm de profundidad, por cada una se colectaron dos submuestras para tener un peso de suelo de 1.0 kg (Salgado et al., 2013). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Las determinaciones de Reacción del suelo (pH), en agua relación 1:2, Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio



(Mg), y (Al) Aluminio intercambiable; se realizaron con los métodos establecidos en la NOM-021-RECNAT (2001).

Para las propiedades químicas, se realizó el análisis de la variabilidad de acuerdo con la estadística clásica, y se determinaron las medidas de tendencia central y dispersión. Con estas se calculó el número de muestras que se deben tomar para obtener el valor de cada parámetro (Acevedo *et al.*, 2008). Se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Kolmorov-Smirnov (Jaramillo, 2010) mientras que los valores atípicos fueron determinados por la gráfica de cajas y bigotes, y estos fueron reemplazados por la media de los vecinos siguiendo la adopción de Jolliffe (2002). Se realizó el análisis geoestadístico, calculando los valores de semivarianza experimental. Luego, se ajustó el semivariograma experimental al semivariograma teórico utilizando el método gráfico (Gotway y Hartford, 1996). Con el modelo teórico y el valor de los parámetros del semivariograma experimental, se aplicó el método de interpolación de Kriging, para obtener los mapas de distribución de los valores de las variables en el área de estudio, utilizando el programa geoestadístico Vesper así como los módulos geoestadísticos de R y ArcGis v. 9.0 (ESRI, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todas las propiedades estudiadas la kurtosis fue mayor a 2 excepto para Ca y Mg, mostrando un sesgo hacia la derecha. Esta asimetría es mayor para P-Olsen, K, Zn y Mg. Con respecto al sesgo solamente el pH, MO, P-Olsen, K, Ca y Mg, se encontraron valores muy cercanos a cero.

Análisis geoestadístico de las propiedades químicas del suelo. Para todas las propiedades, los variogramas se ajustaron considerando la distribución como isotrópica. Se seleccionaron los variogramas mejor ajustados basándose en el error cuadrático medio (RMSE) y los criterios de Akaike (AIC) usando VESPER 1.6 (Rodríguez *et al.*, 2013). La distribución de la variabilidad de las propiedades químicas y físicas del suelo se presenta en las Figura 1.

La distribución de la variabilidad de las propiedades químicas y físicas del suelo se presenta en las Figura 1, y la validación cruzada a todos los semivariogramas ajustados y los errores de predicción se presentan en el Cuadro 1, los cuales se discuten a continuación para cada propiedad del suelo.

El Potencial de Hidrógeno (pH), se ajusta a un modelo de variabilidad espacial de tipo exponencial (Cuadro 1) y genera dos zonas de manejo (Figura 1a). La clase más alta de pH (>4.5), se ubica de sur hacia el noroeste del predio y representa la mayor superficie. La segunda clase (<4.5) ocupa el resto de la superficie. No obstante, de que ambas clases de pH se clasificaron como fuertemente ácido (<5.0), lo cual restringe la disponibilidad de los nutrientes en el suelo Cambisol (Letelier, 1967), se sugiere la aplicación anual de 1 t ha^{-1} de cal dolomítica para elevar en media unidad el pH del suelo Cambisol.

El porcentaje de saturación de acidez (PSA), se ajusta a un modelo de variabilidad espacial de tipo Gaussiano (Cuadro 1) generando tres zonas de manejo en el predio (Figura 1b). El PSA de 0-20 coincide con la clase más alta del pH del suelo lo cual reflejaría menor toxicidad del Al para el cultivo de cacao y se distribuye suroeste, sur y norte. El PSA de 20-40 ocupa la mayor superficie y se distribuye desde el centro a noroeste a sureste. El PSA de 40-60 se distribuye de sureste, este y noreste. Los últimos PSA también coinciden con el menor pH. Lo anterior refuerza la idea de mejorar el programa de encalado, realizando aplicaciones de cal dolomítica de 1.0 y 1.5 t ha^{-1} para las zonas de pH >4.8 y <4.3 , respectivamente; complementada con 0.5 t de yeso (CaSO_4), esta sal es soluble y permite que el calcio pase a mayor profundidad del suelo (Vitti *et al.*, 1992; Kingston *et al.*, 2007). Lo que permitiría reducir la toxicidad del Al intercambiable y mejorar la disponibilidad de los nutrientes.

La materia orgánica (MO) se ajustó a un modelo de variabilidad espacial de tipo Gaussiano (Cuadro 1) y genera tres zonas de manejo en el predio (Figura 1c). Las clases de MO se clasificaron muy pobre ($<1.0 \%$), pobre (1.0 - 2.0%) y medio (2.0 - 3.0%) en el suelo Cambisol, de acuerdo a la clasificación de Tavera (1995). Conservar la MO asegura el suministro de nutrientes al suelo a largo plazo, razón por la cual se recomienda la aplicación de compostas y dejar restos de podas y de residuos de la mata de plátano para evitar la erosión de la capa superficial del suelo. Dado que esta plantación es de alta densidad se recomienda aplicar 100 kg ha^{-1} de nitrógeno al año. Por su parte, Silva *et al.* (2016) encontraron que la densidad aparente del suelo, el volumen total de poros y el diámetro medio geométrico dependen de la cantidad total de carbono orgánico en el suelo cultivado con cacao.

El fósforo (P-Olsen) se ajusta a un modelo de variabilidad espacial de tipo esférico (Cuadro 1) generando tres zonas de manejo agronómico en el predio (Figura 1d). La clase baja de P ($<5.5 \text{ ppm}$) se distribuye de norte a noreste y en el oeste. La clase media de P (5.5 - 11.0 ppm) ocupa la mayor superficie y se

distribuye de noroeste al sur, y sureste a este; dentro de ella se ubica la clase alta (>11 ppm) de P (CSTPA, 1980). La clase media y alta reflejan la acumulación de fósforo a través de la fertilización química realizada a cultivos como sandía y chile habanero, previo a la plantación del cacao. Se recomienda aplicar 100, 75 y 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ al año para la clase, baja, media y alta, respectivamente. El potasio intercambiable (K) se ajustó a un modelo de variabilidad espacial de tipo Gaussiano (Cuadro 1) generando tres zonas de manejo agronómico en el predio (Figura 1e). La clase baja de K (< 0.20 meq/100 g) se ubica hacia el norte y otra sección al suroeste y, ocupa la menor superficie. La clase media (0.3-0.6 meq/100 g) se ubica de noroeste pasando por el centro hacia el sur y al noreste; esta clase ocupa la mayor superficie. La clase alta (>0.6 meq/100 g) se ubica de este a noreste. 150, 100 y 50 kg ha⁻¹ de K₂O al año, según la clase, respectivamente.

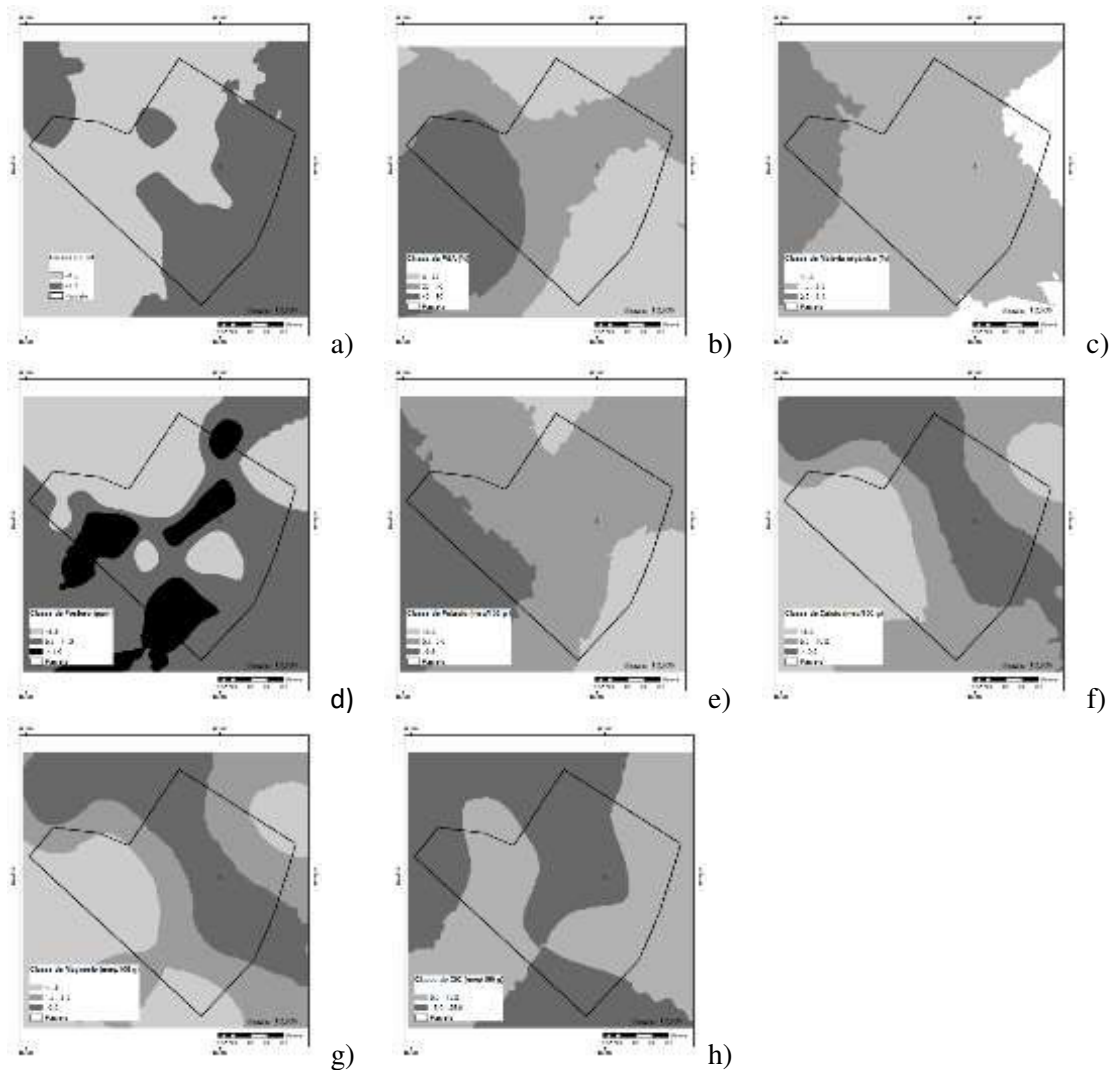


Figura 1. Mapas generados por el método de interpolación Kriging para las propiedades del suelo Cambisol: a) pH, b) PSA, c) MO, d) Fósforo, e) Potasio, f) Calcio, g) Magnesio y h) CIC.

.Cuadro 1. Criterios de selección de modelo, características y errores de predicción de los modelos de los semivariogramas seleccionados para las propiedades químicas del suelo Cambisol cultivado con cacao.



Variable	Criterios de selección del modelo		Modelo	Nugget (Co)	Partialsill (C)	Sill (Co+C)	Rango (Ao)	Errores de predicción del modelo				SDI (%)
	RMSE	AIC						1	2	3	4	
pH	0.001	188.9	Exponencial	0	0.021	0.021	106.85	0.125	0.019	0.977	0.130	0
PSA (%)	2.34	133.4	Gaussiano	0.280	1.463	1.744	286.41	0.696	0.018	1.124	0.614	16
MO (%)	0.006	128.3	Gaussiano	0.063	0.109	0.172	613.72	0.259	0.009	0.987	0.264	37
P (ppm)	4.32	117.6	Esférico	0	75.938	75.938	78.46	6.475	0.006	0.896	7.489	0
K (meq/100 g)	0.004	203.1	Gaussiano	0.020	0.029	0.050	395.29	0.154	0.012	0.998	0.154	41
Ca (meq/100 g)	1.79	84.06	Gaussiano	0.066	0.702	0.768	209.02	2.061	0.011	1.022	2.026	9
Mg (meq/100 g)	0.203	1.36	Gaussiano	0.264	1.841	2.105	183.04	0.696	0.007	1.029	0.679	13
CIC (Cmol (+) kg-1)	0.870	56.68	Gaussiano	0.009	0.008	0.018	113.65	2.040	0.019	0.986	2.087	51

1. Error medio estandarizado; 2. Error cuadrático medio; 3. Error estándar promedio y 4. Error cuadrático medio estandarizado.

$$SDI = [Co / (Co + C)] \times 100$$

El calcio intercambiable (Ca) se ajusta a un modelo de variabilidad espacial de tipo Gaussiano (Cuadro 1) y se generan tres zonas de manejo agronómico en el predio (Figura 1f). Las clases de Ca se clasifican como bajas (<5.0 meq/100 g), medias (5.0-10.0 meq/100 g) y altas (>10.0 meq/100 g). La clase alta de Ca se ubica al norte y hacia el suroeste y coincide con la clase más alta de pH, y guarda una relación lineal. La clase media ocupa la mayor superficie y dentro de ella se encuentra la clase alta de Ca. La clase baja de Ca se ubica de sureste a noreste, esta coincide con la clase de menor pH, y otra sección hacia el noroeste. Lo cual refuerza la idea de mejorar el programa de encalado.

El magnesio intercambiable (Mg) se ajustó a un modelo de variabilidad espacial de tipo Gaussiano (Cuadro 1) generando tres zonas de manejo agronómico en el predio (Figura 1g). Las clases de Mg se clasifican como bajas (<1.5 meq/100 g), medias (1.5-3.0 meq/100 g) y altas (>3.0 meq/100 g). La clase baja de Mg se ubica de sureste a este, coincidiendo con la clase baja de Ca y pH, y otra sección al noroeste; ocupando la menor superficie. La clase media de Mg ocupa la mayor superficie, dentro de ella se encuentra la clase alta de Mg y coincide con la clase más alta de Ca y pH. La distribución de las clases de Mg es similar a las clases de Ca.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se ajustó a un modelo de variabilidad espacial de tipo Gaussiano (Cuadro 1). Se generaron dos zonas de manejo agronómico de acuerdo a la CIC en el predio (Figura 1i). La clase baja de CIC (5.0-15.0 meq/100 g) se ubica de noroeste hacia a suroeste, y otra sección al este; ocupa la menor superficie. También se asocia con las clases bajas de pH, PSA, Ca y Mg; para este caso, es necesaria la aplicación de compostas y/o dejar sobre la superficie del suelo los restos de poda para incrementar la CIC a largo plazo. Al respecto, Daymond *et al.* (2002), encontraron que la poda de árboles de sombra resultó en una mayor apertura del dosel, transmitancia de luz y caída a las fluctuaciones de temperatura y humedad se redujo en el cultivo de cacao. La clase media (15.0-



25.0 meq/100 g) se distribuye del centro del predio hacia el norte y hacia el sur, siendo la recomendable para el cultivo de cacao.

CONCLUSIONES

El PSA, Acidez e H intercambiables presentaron alta variabilidad; P-Olsen, K, Ca y Mg intercambiables variabilidad mediana, y el pH, MO, CIC, Al baja variabilidad.

El análisis geoestadístico estableció zonas de manejo agronómico específicas en el predio. Se determinó que las propiedades del suelo pH, PSA; P-Olsen, Ca y Mg presentaron alta dependencia espacial (<25%) y MO, K y CIC moderada dependencia espacial (25-75%). Con los mapas generados por el método de Kriging ordinario se identificaron áreas parciales con diferente variabilidad, así como la dirección de mayor variabilidad de la propiedad en función de la distancia. Con estos mapas fue posible realizar recomendaciones de manejo agronómico en función de la necesidad de cada zona de manejo específica.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, D. C., Álvarez, A.S., Hernández, M.E., Maldonado, T.M., Pérez, G.R. y Castro, B.R. 2008. Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. *Terra Latinoamericana*, 26(4): 317-324.
- Arévalo-Hernández, C. O., da Conceição Pinto, F., de Souza Júnior, J. O., de Queiroz Paiva, A., & Baligar, V. C. 2019. Variability and correlation of physical attributes of soils cultivated with cacao trees in two climate zones in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 93(3): 793-802.
- Cambardella, C. A., T.B. Moorman., J.M. Novack., T.B. Parkin., D.L. Karlen., R.F. Turco, and A.E. Knopka. 1994. Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, 58(4): 1501-1511.
- CSTPA. Council on Soil Testing and Plant Analysis. 1980. Handbook on reference methods for soil testing. Athens, GA. USA. 264 p.
- Daymond, A. J., Hadley, P., Machado, R. C. R., & Ng, E. 2002. Canopy characteristics of contrasting clones of cacao (*Theobroma cacao*). *Experimental Agriculture*, 38(3): 359-367.
- ESRI. Environmental System Research Institute. 2012. ArcGIS 9.1. Redlands, California USA.: ESRI.
- Gotway, C. A., and H.A. Hartford. 1996. Geostatistical methods for incorporating auxiliary information in the prediction of spatial variables. *Journal. Agricultural Biologic Enviroment Statics*, 1: 17-39.
- Jaramillo, D. F. J. 2011. Dependencia espacial de algunas propiedades químicas superficiales del suelo y de algunas variables de producción en cultivos de crisantemo bajo invernadero. *Revista Científica UDO Agrícola*, 10(1): 60-67.
- Jolliffe, I.T. 2002. *Principal Component Analysis*, 2nd ed. Springer-Verlag, New York, NY. USA. 233-268 p.
- Kingston, G., Meyer, J.H., Garside, A. L., NG KeeKwong, K.F., Jeyabal, A. and Korndörfer, G.H. 2007. Better management practices in sugarcane fields. In: *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol*, 26: 3-16.
- Letelier, A.E. 1967. *Manual de fertilizantes para Chile*. Banco del Estado. Santiago, Chile. 26-50 p.
- Minasny, B., A.B. Mcbratney, and B.M. Whelan. 1999. *VESPER Version 1.6*. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, Sydney, Australia.
- NOM-021-RECNAT. (2001). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2001. 75 p.
- Rodrigues, Jr. F.A., Magalhaes, P.S.G. and Franco, H.C.J. 2013. Soil attributes and leaf nitrogen estimating sugar cane quality parameters: Brix, pol and fibre. *Precision Agrricultural*, 14: 270-289.
- Salgado, G.S., D.J.L. Palma, E.M. Castelán, E.L.C. Lagunes, y L.H. Ortiz. 2013. *Manual para muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos*. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 101 p.



-
- Silva, D. M. P. D., Campos, M. C. C., Franciscon, U., Alho, L. C., Santos, L. A. C. D., Neto, P., & Souza, Z. M. D. 2016. Spatial variability of soil properties in archeological dark earth sites under cacao cultivation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40.
- Tavera, S. G. 1995. Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Delegación La Laguna, Coahuila, México. 258 p.
- Vitti, G.C., Mazza, J.A., Pereira, H.S., and J.L.I. Dematte. 1992. Resultados experimentales do uso de gesso na agricultura caña-da-acucar. In: *II Seminario Sobre o Uso do Gesso na Agricultura*. IBRAFOS, Piracicaba, SP, Brasil, pp. 191-224.



DAÑOS DE COCHINILLA ROSADA DEL HIBISCUS (*Maconellicoccus hirsutus*) EN PLANTULAS DE CACAO

DAMAGE OF PINK HIBISCUS COCHINILLA (*Maconellicoccus hirsutus*) IN SEEDLINGS OF COCOA

¹Ramos Hernández E. ¹Ramírez Guillermo M. Á. ²Castellanos-Potenciano B. P. ¹Hernández Lara P. U. ³Hernández García J. M.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, Km.1. ²INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales, Melchor Ocampo No. 7. CP 86400. Domingo Barrio Bajo, Villa de Etla, Oaxaca. ³Estudiante de Ingeniería e Innovación agrícola Sustentable, Tecnológico Nacional de México-Campus Huimanguillo. Carretera del Golfo Mal Paso-el Bellote. Km. 98.5. Ranchería Libertad. CP 86400. Huimanguillo, Tabasco, México.

*Autor para correspondencia: ramos.eder@inifap.gob.mx

RESUMEN

La cochinilla rosada del hibisco (CRH), *Maconellicoccus hirsutus* (Green), es una plaga altamente polífaga que se reportó en México en 1999 y ahora está ampliamente establecida en algunos estados. Aunque *Theobroma cacao* L. es uno de los hospederos alternos en Tabasco, económicamente es importante por la superficie y el valor cultural que representa este cultivo para el estado. Al ser una plaga recientemente establecida en el cultivo de cacao de Tabasco, no se ha evaluado la susceptibilidad y expresión de los síntomas que producen la CRH en diferentes accesiones durante su proceso de alimentación. Se estableció un bioensayo con plántulas de dos accesiones de cacao (UF273 y Neocriollo) se infestaron la CRH; se evaluaron dos días a la semana durante 70 días para determinar el inicio y los síntomas que expresaban las plántulas durante la alimentación de esta plaga. Los daños se observaron a los 9.25 ± 1.5 y 7.75 ± 1.5 en las accesiones UF273 y Neocriollo, respectivamente. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades, por lo que ambas fueron susceptibles a la alimentación de CRH. Sin embargo, esta metodología contribuye en los ensayos para la búsqueda de accesiones tolerantes a esta plaga.

Palabras clave: UF273, Neocriollo, Cochinilla rosada del hibisco

INTRODUCCIÓN

Maconellicoccus hirsutus (Green 1908) (Hemiptera: Pseudococcidae - lista EPPO A1 and A2), o cochinilla rosada del hibisco (CRH) es un insecto originario del sur de Asia. Actualmente, su distribución se presenta en las zonas tropicales y subtropicales (Steffen *et al.* 2015) como Australia, África, Medio Oriente, Estados Unidos de América, América Central, y la región norte de América del Sur. En estos países ataca el insecto cultivos de importancia comercial y alimenticios (Williams 1996). En 1994, se introdujo en el país insular de Granada, al sureste del mar Caribe, desde donde se dispersó a otras zonas de esta región hasta llegar a América Central, donde se reportó para Belice en 1999 (EPPO 2005).

En México, la CRH se detectó por primera vez en 1999 en Mexicali, Baja California (Miller, 1999). La plaga permaneció confinada a un área urbana adyacente a la franja fronteriza con Estados Unidos, como resultado de estrictas medidas fitosanitarias. Pero en febrero de 2004, se confirmó un brote de *M. hirsutus* en el municipio de Bahía de Banderas, estado de Nayarit, en la especie forestal *Tectona grandis* L. f. Actualmente, esta plaga se ha distribuido en varios estados del país como Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Oaxaca, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (SENASICA 2019).

La CRH es un insecto polífago, que ataca una amplia gama de plantas leñosas, incluidas las ornamentales, generando daños en plantaciones comerciales y en viveros; se ha registrado que se



alimenta de huéspedes de 73 familias y más de 200 géneros de plantas (EPPO 2005), con preferencia hacia las especies de la familia Fabaceae, Malvaceae y Moraceae (EPPO 2005). Dentro de las especies ornamentales, *Hibiscus rosa-sinensis*, es un hospedante típico de esta plaga, de la cual se alimenta de los tejidos del floema, ataca los puntos de crecimiento y las ramas jóvenes de las plantas e inyecta toxinas salivales, que provocan la distorsión característica de tallos, hojas y frutos (Williams 1996; Rosas García y Parra Bracamonte 2011; Aristizabal *et al.* 2012).

Así, los síntomas típicos que produce la CRH por su alimentación en la planta hospedera incluyen el enrollamiento de las hojas y el acortamiento de los entrenudos, lo que provoca una parte superior abultada (Williams 1996). La lesión de la “parte superior abultada” es permanente y la distorsión terminal permanecerá hasta que todas las hojas maduren y se caigan. Las hojas, flores y frutos muy infestados a menudo se abscisa prematuramente, aunque la infestación previa no suele evitar el desarrollo normal posterior de terminales u hojas si se elimina la infestación. Además, el insecto en su etapa ninfal secreta una mielecilla, la cual, sirve de sustrato para el crecimiento de fumagina, lo que reduce el área fotosintética de la planta (Aristizabal *et al.* 2012).

Los impactos directos incluyen los costos de prevención, control y monitoreo, además, de los daños a la especie hospedera (Aristizabal *et al.* 2012). Por su parte los impactos indirectos incluyen pérdidas en el comercio por cuarentena, al presentarse interrupciones en el suministro y barreras no arancelarias para prevenir la llegada y propagación de las plagas. La presencia de la *M. hirsitus* restringe la libre movilización de diversas especies vegetales a nivel nacional e internacional, y afecta la calidad de la producción por los daños directos que produce (García-Valente *et al.* 2009). La *M. hirsitus*, es considerada una plaga de importancia económica no solamente por los daños ocasionados a la planta, sino también por ser de carácter cuarentenario en algunos países de Europa, el cual limita las exportaciones de productos agrícolas como el: mango (*Mangifera indica*), aguacate (*Persea americana*), limón (*Citrus aurantifolia*), cacao (*Theobroma cacao*), guanábana (*Annona muricata*), cítricos (*Citrus* sp.), flores, hortalizas entre otros.

En Tabasco, Torres de la Cruz *et al.* (2019) mencionan que hasta el año 2018 no existía reportes de la CRH afectando cacao (*Theobroma cacao* L.). Además, se desconocían por parte de productores, técnicos y otros actores, los síntomas que puede ocasionar la alimentación de este insecto en dicho cultivo. Posteriormente, esta plaga ha sido de suma importancia en las plantaciones de cacao debido a que se dispersa con mucha rapidez en los cultivos. Además, el cultivo de cacao en Tabasco representa un problema importante debido a que el estado concentra el 70% de la superficie cultivada en México. La presencia de esta plaga puede causar impactos negativos en la producción, generando pérdidas económicas por los altos costos de monitoreo, prevención y control de la plaga (Torres de la Cruz *et al.* 2019). Aún existen pocos estudios sobre los efectos e impactos de la CRH en cacao en México. Con el fin de conocer ir los daños morfológicos causados por la cochinilla rosada en plántulas de al menos dos materiales de cacao, se planteó un bioensayo para la reproducción de síntomas ocasionados por esta plaga en cacao a nivel invernadero en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Huimanguillo (CEHUI).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Durante el primer trimestre del año 2020 se realizaron recorridos exploratorios en el banco de germoplasma de cacao del INIFAP-Campo Experimental de Huimanguillo (CEHUI). Durante este recorrido se observó materiales: UF273 y Neocriollo con presencia de mazorcas maduras con la finalidad de colectarlas e iniciar la producción de plántulas en vivero.

Insecto y plántulas de cacao

El bioensayo fue realizado en invernadero en el INIFAP-CEHUI. Esta zona, como en la mayor parte del territorio tabasqueño (95%), presenta clima cálido húmedo. La temperatura promedio del invernadero durante el día fue de 33.9° (julio-septiembre) con un intervalo de humedad relativa de 63 a 98 %. Se utilizaron plántulas de cacao de dos accesiones (Neocriollo y UF273), como hospedantes del bioensayo. Las plántulas de cacao se germinaron en las bolsas para viveros (12.7 cm de diámetro X 25 cm) con



suelo, previamente esterilizado. El suelo utilizado se clasificó como Fluvisol eutrico. La textura del suelo fue clasificada como franca y arcillo-limosa. Posteriormente, a la germinación de las dos accesiones, estas se introdujeron en una jaula; la cual, se construyó con malla antiáfido y estructura con PVC de ½" (de 70 X 70 x 70 cm)

Expresión del daño alimentario por la CRH en accesiones de cacao

Para evaluar el daño expresado por dos accesiones de cacao, se colocaron cuatro plantas de las accesiones (UF27 3) y Neocriollo en jaulas. Estos cultivares se seleccionaron tras los recorridos exploratorios del banco de germoplasma y en los que se identificó la presencia la CRH. En la jaula cada plántula de las dos accesiones de cacao se infestó mediante la colocación de dos ovisacos de la CRH en su yema apical con una brocha. Para evaluar el daño alimenticio expresado por las plántulas de cacao, se colocaron cuatro plantas de cada accesión (n=12 plantas) en las jaulas (Tabla 1). Los ovisacos utilizados para este bioensayo se colectaron en campo. En este bioensayo se utilizaron plántulas de 49 días después de la germinación. La altura de las plántulas, el número de hojas y número de yemas axilares de cada plántula se midieron al inicio del bioensayo (Tabla 1).

Tabla 1.- Parámetros al inicio del bioensayo 1 de las accesiones de cacao UF273 y Neocriollo. 20 de julio del 2020.

Material	Altura (cm)	No. Hojas	No. De rebrotes	No. de ovisacos
UF273 1	33	12	0	2
UF273 2	26.5	11	0	2
UF273 3	29	8	0	2
UF273 4	27.5	7	2	2
Neocriollo 1	20	6	2	2
Neocriollo 2	34.5	11	0	2
Neocriollo 3	24	5	0	2
Neocriollo4	27	9	0	2

Después de la emergencia de ninfa, las plántulas se evaluaron los lunes y viernes de la semana para determinar la expresión de los síntomas de alimentación. Durante las observaciones, se registraron el número de hojas, número de rebrotes y altura de las plántulas.

La evaluación de la gravedad de los síntomas de alimentación se basó en el porcentaje de terminales que presentaron síntomas de alimentación en cada plántula. La gravedad de los síntomas de alimentación se comparó entre las accesiones infestadas con los ovisacos.

La latencia hasta la primera expresión de los síntomas de alimentación (días) fue comparado mediante estadística descriptiva entre accesiones de cacao infestados con lo ovisacos.

El bioensayo se estableció como un diseño completamente al azar con 12 plántulas en total. En el bioensayo cada accesión tiene cuatro replicas o plántulas por accesión. Los datos de latencia se analizaron por una ANOVA de una vía usando el Statgraphics Centurion XVI.I. Las medias de tratamientos fueron separadas por prueba de comparación múltiple de Tukey a $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La infestación de las accesiones UF273 y Neocriollo con dos ovisacos de CRH resultaron en la expresión de síntomas de alimentación en la parte apical de todas las plántulas dentro de los primero 10 días (Figura 1). Una de las plántulas del UF273 mostró síntomas a los siete días después de la infestación, las otras tres lo presentaron a los 10 días, por consiguiente, esta accesión presento una media de 9.25 ± 1.5 días después de la infestación. Tres plántulas de la accesión Neocriollo mostraron los primeros síntomas a los siete días después de la infestación, una plántula, mostró síntomas a los 10 días después de la infestación. El Neocriollo mostró síntomas por alimentación de la CRH 7.75 ± 1.5 días después de la infestación. Para el número de días de la infestación por accesión, no hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza.



Figura 10.- Síntomas ocasionados por alimentación de *M. hirsitus* de en la parte apical de todas las plántulas dentro de los primero 10 días.

El primer síntoma observado en las plántulas de cacao de las dos accesiones fue un daño en el punto apical. El cual es un arrosamiento. Este síntomas es atribuible a que este insecto se identifica por tener un aparato bucal picador chupador que le permite absorber la “savia” que circula por el xilema y floema de la planta (Ghose 1972). Este consumo de savia por parte de la CRH produce deformación de los tejidos vegetales de los cuales se alimenta, debido a que libera una toxina, lo que lleva a producción de síntomas en plantas sensibles, así como retraso del crecimiento y desarrollo de las plantas (Montes Rodríguez 2012; Chong *et al.* 2015).

Otros síntomas provocados por CRH durante el proceso de alimentación en las plántulas de las dos accesiones de cacao fueron: el rizado y deformación de la hojas nuevas, como retorcadura en hojas pequeñas (del envés hacia el haz y viceversa), necrosis (muerte de tejidos vegetales) en hojas pequeñas y en hojas fotosintéticamente desarrolladas, deformación en ápice de hojas, deformación en bordes y nervadura de hojas pequeñas y desarrolladas, retorcadura en el cogollo, ligero hinchamiento en tallo principal de la planta, protuberancia en el tallo, base del peciolo con observaciones parecidas a canchales (Figura 2). En plantaciones de cacao de Brasil, las infestaciones intensas de CRH se asociaron con la deformación de los brotes y la atrofia de las yemas terminales y la reducción de nuevos brotes de crecimiento (Fornazier *et al.* 2017). En Tabasco, Torres de la Cruz *et al.* (2019) también reportan estos síntomas para plantaciones de cacao.

Al igual que muchos insectos que se alimentan del floema, la CRH produce una gran cantidad de mielecilla, lo que reduce el valor estético de las plantas y proporciona un medio de crecimiento para la fumagina negra, lo que reduce aún más el valor y la normalidad (Chong *et al.* 2008; Chong *et al.* 2015). Sin embargo, en el presente bioensayo se observó la mielecilla en la zona apical de las plántulas, pero no se presentó la fumagina.

Los síntomas de alimentación antes del día 10 probablemente fueron causados por la generación infestaste. Las ninfas de estadios I se observaron en las dos accesiones a los dos días después de la colocación de ovisacos sobre las plántulas. Las ninfas de estadios II se observaron en las plántulas a los ocho días después de la colocación de ovisacos. Según Mani (1989), la duración del ciclo de vida

de la CRH menciona la duración de días para cada instar es de: I (6.6 días), II (6.5 días), III (8 días); alcanzando su estado adulto (hembras) desde huevo en 26 días.



Figura 11.- Síntomas ocasionados por alimentación de *M. hirsutus* de en la parte apical de todas las plántulas a los 70 días después de la infestación.

CONCLUSIONES

Las accesiones de cacao UF273 y Neocriollo muestran alta susceptibilidad a la alimentación de CRH. Ambos materiales, muestran sintomatología semejante reportada para plantaciones de cacao. Esta metodología para le evaluación y reproducción de síntomas causados por la alimentación de CRH puede ser útil para la selección de plantas que sean tolerantes a los daños que provoca la alimentación de esta plaga, por lo que se recomienda continuar realizando bioensayos que aporte evidencia en ello.

AGRADECIMIENTOS: Esta investigación fue financiada por el proyecto: Identificación del vector del agente causal de las anomalías y engrosamiento del rebrote y ramas de *Theobroma cacao* L. en Tabasco (Número de proyecto SIGI: 9481135092). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

LITERATURA CITADA

- Aristizabal L.F., Mannion C., Bergh C. y Arthurs S. 2012. Life history of pink hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) on three hibiscus rosa-sinensis cultivars. Florida Entomologist 95:89-94.
- Chong J.-H., Aristizábal L.F. y Arthurs S.P. 2015. Biology and management of *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) on ornamental plants. Journal of Integrated Pest Management 6.
- Chong J.H., Roda A.L. y Mannion C.M. 2008. Life history of the mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera : Pseudococcidae), at constant temperatures. Environmental Entomology 37:323-332.
- EPPO. 2005. *Maconellicoccus hirsutus*. European and Mediterranean Plant Protection Organization 35:413-415.



- Fornazier M.J., Martins D.D., Souza C.A.S., Culik M.P., Chipolesch J.M.A., Fornazier D.L., Ferreira P.S.F. y Zanuncio J.C. 2017. Invasion of the main cocoa-producing region of south america by *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae). Florida Entomologist 100:168-171.
- Garcia-Valente F., Ortega-Arenas L.D., Gonzalez-Hernandez H., Villanueva-Jimenez J.A., Lopez-Collado J., Gonzalez-Hernandez A. y Arredondo-Bernal H.C. 2009. Natural and induced parasitism of *Anagyris kamali* against pink hibiscus mealybug on teak shoots in bahia de banderas, nayarit. Agrociencia 43:729-738.
- Ghose S.K. 1972. Morpho-histological changes in some economic plants due to infestation of mealybug, *Maconellicoccus-hirsutus* (Green) hemiptera - pseudococcidae). Indian Journal of Agricultural Sciences 42:329-&.
- Mani M. 1989. A review of the pink mealybug - *Maconellicoccus-hirsutus* (Green)). Insect Science and Its Application 10:157-167.
- Montes-Rodríguez J.M. 2012. Primer registro de parasitoides de la cochinilla rosada del hibisco, *maconellicoccus hirsutus* (hemiptera: Pseudococcidae), en colombia. Revista Colombiana de Entomología:274-275.
- Rosas-García N.M. y Parra Bracamonte G.M. 2011. Incidencia de la cochinilla rosada del hibisco en cultivares de mango de Nayarit, México. Acta Zoológica Mexicana:407-418.
- SENASICA. 2019. Cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*) Green, 1908: Servicio Nacional de Sanidad (ed). Ciudad de México.
- Steffen K., Grousset F., Schrader G., Petter F. y Suffert M. 2015. Identification of pests and pathogens recorded in europe with relation to fruit imports. 45:223-239.
- Torres de la Cruz M., de la Cruz Pérez A., Pérez de la Cruz M. y Ortiz García C.F. 2019. Registro y descripción del daño de la cochinilla rosada del hibisco, *Maconellicoccus hirsutus* green (Hemiptera: Pseudococcidae), en *Theobroma cacao* L., en Tabasco, México. Revista Chilena de Entomología 45.
- Williams D.J. 1996. A brief account of the hibiscus mealybug *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae), a pest of agriculture and horticulture, with descriptions of two related species from southern asia. Bulletin of Entomological Research 86:617-628.



Sección H: Socioeconomía y Desarrollo Rural



ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DEL GANADO BOVINO DE CARNE DEL "MACHIN S.P.R.I."

ANALYSIS OF THE BEEF CATTLE VALUE CHAIN OF "MACHIN S.P.R.I."

¹Terán Hernández JE, ¹Infante Cruz MJ, ¹Pérez Bautista JJ, ¹Pérez Hernández P, ¹Carrillo Cárdenas, M, ¹Oropeza Estrada JA, ²Hernández Mogica M, ²Lemus González MT y ³Martínez Martínez R

¹Universidad Politécnica de Huejutla (UPH), Parque de Poblamiento, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México, C.P. 43000. ¹Colegio de Postgraduados Campus Veracruz (COLPOS). Carretera Xalapa-Veracruz km. 88.5. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. México. C.P. 91690. ¹Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

²Tecnológico Nacional de México, campus Huejutla (ITH), Carr. Huejutla-Chalahuiyapa Km 5.5, C.P. 43000 Huejutla ³Centro Universitario la Costa Sur, Universidad de Guadalajara (CUCSur), Av. Independencia Nacional 151, Centro, 48900 Autlán de Navarro, Jal. México.

*Autor para correspondencia: A332865@alumnos.uaslp.mx

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue analizar la cadena de valor, para evaluar las características socioeconómicas y productivas de la sociedad el Machín que se dedica a la producción de ganado bovino. El estudio se realizó en septiembre a diciembre de 2020 y se aplicó un cuestionario a 24 productores socios con preguntas semiestructuradas considerando características socioeconómicas y características productivas, así como también se hizo un análisis de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas para generar estrategias que permitan fortalecer a la sociedad, una matriz de eliminar, reducir, incrementar y crear y se construyó un mapeo de la cadena de valor y el cuello de botella en la producción de ganado bovino de carne. Se identificó y priorizo las limitaciones que frenan la competitividad de la cadena. Los resultados del diagnóstico se encontraron con una edad promedio de 58 años todos los socios. La escolaridad con 1.8 años con el 54% de los socios saben leer y escribir. En lo productivo tiene 47 cabezas de bovino con razas utilizadas con el 45.8% charoláis, 41.6% son pardo suizo y 12.6% cebú. Con respecto a la cadena de valor se identificaron la existencia de los eslabones producción, transformación y comercialización hasta el consumidor final. Se concluye con una propuesta de escalonamiento planteando la posibilidad de elaborar bloques nutricionales como complemento de la dieta diaria de los bovinos y la elaboración de quesos y yogurt como productos de valor agregado como estrategias de mejoras competitivas.

Palabras clave: *Productores, diagnóstico, estrategias, competitividad, mercado.*

INTRODUCCIÓN

En México existe una demanda interna de carne de bovino debido a que es la segunda más comercializada en el mercado, después de la carne de pollo, se estimada 32 millones de cabezas de bovinos por lo cual, los principales estados productores de México son Veracruz (13.24%), Jalisco (9.03%), Chiapas (7.84%), Chihuahua (6.76%) y Michoacán (5.94%). En conjunto, produjeron 42.81% de la producción nacional. En el estado de Hidalgo el 38% de la superficie se dedica la ganadería y es parte del sustento económico familiar. La producción bovina es 448 mil de cabezas de bovinos lo que representa 1.37% en el país (SIAP, 2019).

En la huasteca hidalguense la producción bovina es una práctica común que se desarrolla en forma tradicional sin registros productivos y reproductivos. Sin embargo, la actividad ganadera es considerada por los productores el 68% como fuente de ahorro, el 24% como un empresa familiar y 8% con una visión empresarial (Díaz *et al.*, 2011).



En ese sentido, el análisis de cadenas productivas que involucran actividades de producción, transformación, comercialización y consumo final de un producto agropecuario, da a conocer posibles estrategias para el desarrollo competitivo en unidades de producción (Iglesias, 2000). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de la cadena de valor, para evaluar las características socioeconómicas y productivas de la sociedad el Machín que se dedica a la producción de ganado bovino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en septiembre a diciembre de 2020 con la participación de 24 socios productores de la sociedad el Machín S.P.R.I. Tzacuala, del municipio de Huautla del Estado de Hidalgo. Se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 21°6' 23.505" de latitud norte y 98°13' 38.552" de longitud oeste, con una altitud de 194 msnm. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988), con una temperatura media de 26 a 34 °C, y una precipitación anual de 800 mm (CONAGUA, 2015).

Metodología de análisis de la cadena de valor

Se realizó una metodología de acuerdo a GTZ (2009); Escobar (2012) que consiste en: 1) Diagnóstico de la sociedad. Se diseñó y aplicó un cuestionario a 24 productores socios con preguntas semiestructuradas considerando los aspectos: a) Características socioeconómicas: edad, escolaridad, antigüedad en la actividad, importancia en la actividad bovina, tenencia de la tierra, forma de comercialización, número de bovinos vendidos, ingreso por venta de bovinos, tamaño del hato, superficie dedicada a los bovinos, propósito productivo, tipo de mano de obra empleada, infraestructura y equipo. b) Características productivas: estructura del hato, asistencia técnica y uso del agua. La información se obtuvo de manera personal con los integrantes pertenecientes a la sociedad de producción rural y también se hicieron observaciones directas de manejo e infraestructura de las unidades de producción bovina. 2) Se realizó un análisis de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) para generar estrategias que permitan fortalecer a la sociedad. 3) Con la información obtenida en el 2 se construyó una matriz de eliminar, reducir, incrementar y crear (ERIC). 4) Mapeo de la cadena de valor. Se realizó la representación gráfica que permite identificar las funciones básicas de los actores directos e indirectos con relación comercial. 5) El cuello de botella en la producción de ganado bovino de carne. Se identificó y priorizó las limitaciones que frenan la competitividad de la cadena. 5) Escalonamiento en la producción de ganado bovino de carne. Realizo una propuesta para innovar, agregar valor y hacer más eficiente su rol en la cadena de valor.

Análisis estadístico

Con los datos colectados se elaborara estadística descriptiva con las características socioeconómicas y productivas utilizando las variables cuantitativas como la edad, escolaridad, antigüedad en la actividad, número de ovinos vendidos, ingreso por venta de bovinos, tamaño del hato, superficie total, superficie dedicada a los bovino. Se usó el programa Statistica versión 7.1 (StatSoft, 2005).

RESULTADOS

Características socioeconómicas de los productores

El cuadro 1. Muestra la edad de los productores más jóvenes se encontraba entre los 40 a 50 con 33%, seguido por 51 a 60 con 17% y 61 a 81 con 50% que se encuentran de la tercera edad, con una edad promedio de 58 años todos los socios. La escolaridad de los productores en un 21% fue primaria, 33% secundaria y 46% sin estudios. Esto quiere decir, que al menos el 54% de los productores saben leer y escribir. La edad y escolaridad son elementos a considerar para la toma de decisiones relacionadas con la adopción de tecnologías y técnicas adecuadas para mejorar el desarrollo en los sistemas de producción bovina (Chalate *et al.*, 2010).

La participación de los productores en la sociedad es 100% en tierras ejidales de la comunidad. La actividad ganadera es suma importancia económica, es considerado como un patrimonio y como



ahorro, con propósito productivo de producir carne de bovino. La totalidad de la mano de obra utilizada es de los mismos socios en algunos casos participación los hijos en la actividad ganadera. La comercialización se realiza llevando los animales al municipio y la venta es con los comerciantes que tienen el oficio de carniceros. Todos los productores entrevistados mencionan que "no cuentan con la infraestructura y equipo de tecnología adecuado, solamente maquinas simples como es mache, mochilas de aspersión manual".

Cuadro 1. Características socioeconómicas de los productores de la sociedad de ganado bovino en el "MACHIN S.P R.I."

Variable	Media \pm D. E.	Mínimo	Máximo
Edad (años)	58.1 \pm 13.7	40.00	81.00
Escolaridad (años)	1.8 \pm 0.89	1.00	3.00
Antigüedad en la actividad (años)	19.4 \pm 2.16	10.00	20.00
Superficie total (ha)	21.0 \pm 10.6	10.00	21.00
Número de bovinos (cabezas)	47.8 \pm 0.87	5.00	47.00
Número de bovinos vendidos al año (cabezas)	11.8 \pm 1.1	4.00	12.00
Ingreso por la venta de bovinos (\$)	80. 005 \pm 17 389	64.00	96.00

D.E. = Desviación estándar

Características productivas

El manejo reproductivo en el sistema de producción se basa en la monta natural. En la alimentación de los bovinos se efectúa 100% pastoreo y cuando escasea el pasto, se lleva el ganado a otros lugares a pastorear. Estos datos son similares a lo encontrado con 98% de pastoreo en el manejo de los hatos en agroecosistemas bovino en Papaloapan, Veracruz (Vilaboa *et al.*, 2009). En lo zosanitario solo consiste en vitaminar, desparasitar y vacunar una vez al año, existen dos principales problemas sanitarios en el hato son: la mastitis en las vacas lactantes y la rabia en los casos de ataque del murciélago. Este último coincide con lo reportado en el ganado bovino en la región de Chiapas con problemas de derriengue o rabia (Orantes-Zebadúa *et al.*, 2014). La estructura el hato se encuentre conformado por las vacas de producción, novillonas y vaquillas predominan a nivel del hato. En menor cantidad toretes, sementales y becerros (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de los animales en el hato.

Etapas fisiológicas del animal	Participación en el hato (%)
Vacas de producción	25.53
Becerros	10.63
Vacas secas	14.89
Toretos	4.27
Vaquillas	19.14
Sementales	4.25
Novillonas	21.29

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas.

La asistencia técnica el 3% de los productores ha recibido capacitación por parte de prestadores de servicios profesionales (PSP) con formación de ingenieros agrónomos o médicos veterinarios, pero es deficiente. Sin embargo, tienen interés en aprender para contribuir más en prácticas que mejoren su hato. El uso del agua para los bovinos proviene en un 90% del agua comunitaria entubada para uso doméstico, pero es acarreada en recipientes de plástico con vehículo hasta los bebederos de los animales y en un 10% de lluvia de temporal. Por lo tanto, la sociedad se encuentra con una falta de transferencia de tecnología e innovación actual debido a lo anterior se realizó un análisis



de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) (Cuadro 3) y matriz de eliminar, reducir, incrementar y crear (ERIC), para identificar estrategias de fortalecimiento (Cuadro 4).

Cuadro 3. Análisis FODA de la asociación de ganado bovino carne de la sociedad el Machín S.P.R.I.

	Fortalezas	Debilidades
I	F1: Mano de obra familiar.	D1: Falta de conocimiento para el cumplimiento de apoyos gubernamentales.
N	F2: Experiencia laboral.	D2: Carencia de infraestructura y equipo.
T	F3: Superficie de tierras para trabajar.	D3: Asistencia técnica y capacitación continúa.
E	F4: Tiene animales.	D4: Falta de valor agregado a sus productos.
R	F5: Disponibilidad de vehículo.	D5: Falta de un sistema contable administrativo.
N	F6: Están constituidos legalmente.	D6: Falta de certificación de buenas prácticas pecuarias ante la SADER.
O		
	Oportunidades.	Amenazas.
E	O1: Disponibilidad de más superficie agrícola.	A1: Altos costos de los insumos para elaborar alimentos.
X	O2: Obtener créditos.	A2: Riesgo de contagio de enfermedades a los hatos.
T	O3: Ser beneficiarios en apoyos a la ganadería bovina.	A3: Robo de animales.
E	O4: Existe un mercado por abastecer de manera local y regional.	A4: Introducción de ganado para venta de otros lugares.
R	O5: Pueden vincularse con sociedad para realizar compra-venta de ganado.	
N		
O		

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas.

Cuadro 4. Matriz ERIC de la sociedad ganadera El Machín.

	Eliminar	Incrementar
	La conformidad de los socios.	Estrategias de fortalecimiento de actividades para que los socios obtengan un mejor enfoque en su trabajo. Información a los socios sobre las ventajas del ganado de registro. Conocimientos de las obligaciones y derechos de los socios. Proyectos de innovación. Más proveedores de la región o estado.
	Reducir	Crear
	Estancamiento de la asociación ganadera.	Crear un vínculo con dependencias gubernamentales como (SADER, FIRA u otros). Conexión con instituciones o dependencias de investigación. Vínculos con instituciones que elaboren certificaciones genéticas. Crear un mercado para la venta de carne orgánica bovino de la región Huasteca.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se muestran los eslabones de la cadena de valor del ganado bovino de carne del "Machin S.P.R.I."

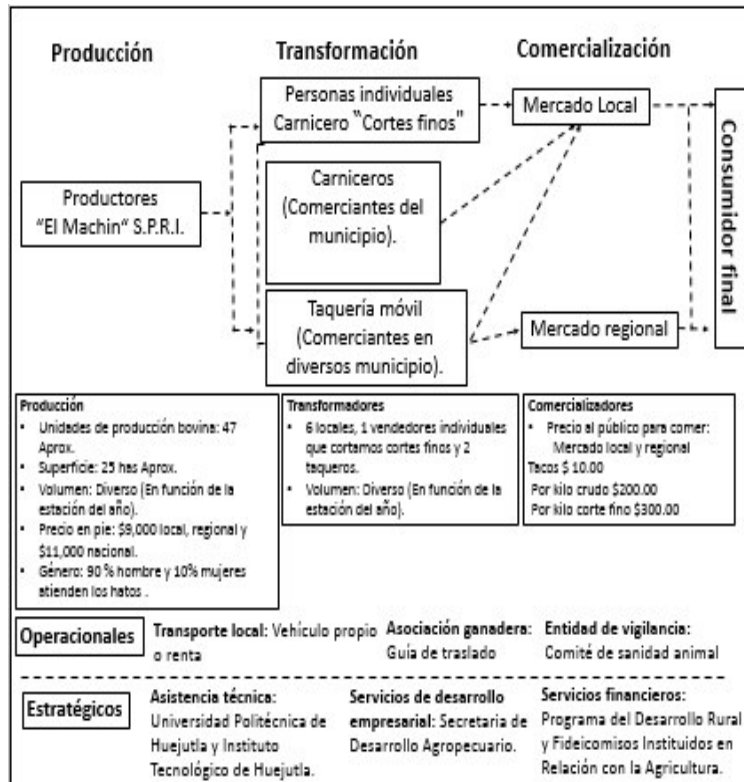


Figura 1. Mapeo de la cadena de ganado bovino carne de la sociedad el Machín S.P.R.I.

Eslabones de la cadena productiva de carne de la sociedad el Machín S.P.R.I. inicia con la descripción de cada eslabón.

El primer eslabón de análisis fue la producción constituido por 24 productores socios del rancho el Machín S.P.R.I. El número promedio de ovinos por grupo de productores fue 47 cabezas de bovino con razas utilizadas es el 45.8% charoláis, 41.6% son pardo suizo y 12.6% cebú, lo que indica la preferencia por animales de la raza charolais, respectivamente. No se tiene establecido algún programa reproductivo en los animales, por lo cual se sugiere una capacitación integral a los productores en el manejo reproductivo durante épocas definidas.

El segundo eslabón es la transformación en este intervienen los comerciantes que consisten en la actividad siguiente: 1) Transformación de la canal en cortes finos; 2) La transformación de la canal a diversos cortes tradicionales y subproductos cárnicos (carne enchilada, carne curada o en marinado, carne picada, entre otros) para la venta al consumidor final.

Tercer eslabón es la comercialización donde se encuentran los mencionados anteriormente en el eslabón de transformadores que realizan la venta de manera local y regional al consumidor final de manera directa.

La competitividad de la cadena se ve afecta por diversos actores que intervienen en ella. Así que, con estrategias se debe quitar todos los cuellos de botella que se encuentran en cada eslabón de la cadena y frenan su competitividad (Cuadro 5).



Cuadro 5. Cuello de botella según eslabón de la asociación el Machín.

Eslabón	Cuello de botella
Producción	Falta de buen material genético, falta de financiamiento, vulnerabilidad ante enfermedades, falta de asistencia técnica de calidad.
Comercialización	Falta de información de tendencias de venta, precios no acordes al mercado meta, falta de marketing.
Transformación	Falta de mercado de alto valor.
Consumo final	Pocos puntos de venta.

Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de escalamiento.

Se identificó las problemáticas más relevantes dentro de los eslabones de producción que se encuentra la sociedad del "Machin S.P R.I." en la cadena de valor bovino carne y alternativas para su mejoramiento (Cuadro 6).

Cuadro 6. Propuesta de escalamiento para mejorar eslabón de producción de la asociación el Machín.

Problemática	Alternativas de mejoramiento
La alimentación de los animales se basa en el pastoreo de gramíneas nativas, las cuales son de bajo valor nutritivo cuando llegan a etapa de inflorescencia y depende de la disponibilidad de las lluvias.	Implementación de bloques multinutricionales puede contribuir como un complemento alimenticio que permitirá a los animales: 1) Mejorar el consumo y digestibilidad de forrajes secos y fibrosos por los animales.
Los ingresos de la sociedad el Machín se basa solo en la venta animal, las cuales son de bajo valor económico ya que los precios cambian de acuerdo la oferta y demanda en el mercado, lo que provoca estancamiento dentro de la asociación en generar ingresos todo el año.	La implementación de la elaboración de yogur y quesos por los productores, generaría un valor agregado al eslabón de producción y formarían parte del eslabón de comercialización. Esto permitiría al productor: 1) Generar ingresos extras todo el año, 2) generar mayor valor comercial dentro de la percepción del consumidor.

Fuente: Elaboración propia del análisis de las encuestas realizadas.

CONCLUSIONES

La cadena de valor ganado bovino está integrada por la producción, comercialización y transformación por último, consumidor final, los cuales interactúan entre sí de manera horizontal. El ganado bovino de carne en la sociedad el Machín, tiene sólo un canal de comercialización directa con los comerciantes. Los socios se encuentran estancados, debidos principalmente a que no reciben una asesoría de manejo integral de ganado bovino, no promocionan activamente el ganado y no generan alternativas para diversificar algún producto en los mercados. Analizando esta situación como factores clave de tipo social y productivo que limitan la actividad en la sociedad el Machín. Finalmente, se realizó una propuesta para establecer estrategias de mejoras competitivas y sustentables planteando la posibilidad de elaborar bloques nutricionales como complemento de la dieta diaria de los bovinos y la elaboración de quesos y yogurt como productos de valor agregado.

LITERATURA CITADA

Chalate-Molina, H., Gallardo-López, F., Pérez-Hernández, P., Lang-Ovalle, F.P., Ortega-Jiménez, E., Vilaboia, A.J. 2010. Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos, México. Zootecnia tropical. 28 (3) 329-339.



- CONAGUA, 2015. Comisión Nacional del Agua. Reporte de climas de México <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/RC-Junio15.pdf>. Fecha de consulta 15 de junio de 2021.
- Díaz-Rivera, P., Oros-Noyola, V., Vilaboa-Arroniz, J., Martínez-Dávila, J.P., Torres-Hernández, G. 2011. Dinámica del desarrollo de la ganadería doble propósito en las Choapas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 191-199.
- Escobar, L.O. 2012. Consultoría: mapeo de actores relacionados con la innovación tecnológica en las cadenas de maíz y frijol en Nicaragua. 93 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie libros. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Quinta edición. México. D.F. 99 p. ISBN: 970-32-1010-4. http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_li_b/modific_al_sis.pdf
- GTZ, (Agencia Alemana de Cooperación Técnica). 2009. Guía Metodológica para la implementación talleres de fomento cadenas de valor: Programa Manejo Sostenible de Recursos Naturales y Fomento de Competitividad (MASRENACE). Nicaragua. 62 p.
- Iglesias, D. 2002. "Cadenas de Valor como estrategia: Las Cadenas de valor en el sector Agroalimentario". Argentina: INTA 1-25.
- Orantes-Zebadúa, M.A., Platas-Rosado, D., Córdova-Avalos, V., De los Santos-Lara, M.C., Córdova-Avalos, A. 2014 Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 1(1):49-58
- SIAP, 2019. Sistema Información Agroalimentaria y Pesca SIAP. <http://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762> Fecha de consulta 15 de julio del 2021.
- StatSoft. Inc. 2005. Statistica data analysis software system. Versión 7.1. <http://www.statsoft.com>
- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Platas-Rosado, D.E., González-Muñoz, S., Juárez-Lagunes, F. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10:53-62



CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN FAMILIAR EN el ESTADO DE CAMPECHE, México: CADENA MAÍZ

SOCIO-ECONOMIC CHARACTERIZATION OF FAMILY PRODUCTION UNITS IN THE STATE OF CAMPECHE, MEXICO: CORN CHAIN

¹Maya Martínez A, ¹Lara del Río MJ y ²Uzcanga Pérez NG

¹Campo Experimental Edzná del INIFAP en el Estado de Campeche. Km. 15.5, Carretera Campeche-Pucyaxum, C.P. 24520. Campeche, México

²Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE) del INIFAP. Calle 6 Núm. 398 x 13, Avenida Correa Rachó. Col. Díaz Ordaz, C.P. 97130. Mérida Yucatán, México.

*Autor de correspondencia: maya.aixchel@inifap.gob.mx

RESUMEN

El programa Proyectos de Desarrollo Territorial (PRODETER) pretendió incrementar la productividad de las unidades de producción familiar (UPF), para contribuir a mejorar el ingreso de la población. Para ello, primero, fue necesario realizar un diagnóstico socioeconómico para detectar las áreas de oportunidad y, así, orientar las acciones del Programa. El objetivo del trabajo fue realizar la caracterización socioeconómica de las UPF que conforman dos PRODETER del estado de Campeche en la cadena maíz. El muestreo dirigido se realizó mediante una entrevista y la aplicación de un cuestionario para la obtención de información de las UPF de la cadena agroalimentaria de maíz. Se obtuvieron estadísticos descriptivos, frecuencias y tablas cruzadas. Las características socioeconómicas coinciden con datos ya reportados, lo que ocasiona la búsqueda de otras fuentes de ingreso y refleja el escenario de las actividades agropecuarias en el sureste de México. La producción de maíz en la región centro del Estado es monocultivo con el uso de semillas híbridas, en contraste con lo reportado para el estado Yucatán, en el cual los productores utilizan semilla criolla. En coincidencia con otros estudios, predominó la preparación del terreno y la siembra manual a espeque; esto ocasionado por el difícil acceso de la maquinaria al área de cultivo principalmente. En cuanto al manejo de cultivo, la mayoría se apegan al paquete tecnológico sugerido por el INIFAP. Las UPF, como la mayoría en México, se encuentran en el Estrato 1 (familiar de subsistencia sin vinculación al mercado) y Estrato 2 (de subsistencia con vinculación al mercado), es decir, mantienen un bajo impulso de capacidades técnicas, productivas y empresariales, se ubican en los municipios de Zonas de Atención Prioritaria Rural y están asociadas de manera formal o informal, en localidades de alta y muy alta marginación con respecto a los demás municipios.

Palabras clave: *maíz, agricultura familiar, desarrollo territorial*

INTRODUCCION

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), puso en marcha los Proyectos de Desarrollo Territorial (PRODETER) en el año 2019, programa que comprende un conjunto de proyectos de inversión para mejorar la producción primaria y crear o fortalecer las empresas que permitan asumir las funciones económicas prioritarias de las cadenas productivas. La propuesta de atención del territorio se realizó con base en los criterios de: cadenas productivas prioritarias, potencial productivo, así como programas prioritarios federales, proyectos con inversiones previas y potencial de desarrollo, que tengan complementariedad con programas de la SADER u otras dependencias (DOF, 2019).

Los PRODETER estuvieron destinados a mitigar las carencias socioeconómicas y tecnológicas en apoyo directo a las UPF, asociadas de manera formal o informal, interesadas en organizarse como sujetos económicos de desarrollo y crédito, capaces de asociarse para crear, operar o consolidar empresas rurales que les permitan realizar una integración gradual, horizontal y vertical de las cadenas productivas en que participan; así como en mejorar sus actividades productivas por medio de la capacitación adaptación, transferencia y adopción de tecnologías, a través de la inclusión de los servicios de extensión. Por lo que la población objetivo del Programa estuvo compuesta por las UPF



que residen en los municipios de las Zonas de Atención Prioritarias Rurales 2019, así como por las UPF que se encuentran en localidades de marginación alta y muy alta respecto resto de los municipios (DOF, 2019).

En el estado de Campeche se conformaron un total de ocho PRODETER, de los cuales tres fueron constituidos con fondos concurrentes: “Camino real” que comprendió los municipios de Calkiní, Hecelchakán y Tenabo, “Chenes” (Hopelchén) e “Isla” (Carmen) y cinco PRODETER de ejecución directa: “Campeche” (Campeche), “Centro” (Champotón), “Sur” (Escárcega), “Ríos” (Palizada y Candelaria) y “Biosfera” (Calakmul). Las cadenas agroalimentarias prioritarias de atención que se identificaron en estos proyectos de desarrollo territorial fueron: maíz, miel, sábila, ovinos, bovinos, palma de coco y frutales (DOF, 2019) y, dentro de estos territorios, se ubicaron UPF, con las características previamente mencionadas. Para lograr lo anterior fue necesario, en primera instancia, realizar un diagnóstico socioeconómico de las UPF, ya que este permite tener una línea base para el conocimiento del estado actual de los territorios en los que se va a trabajar; esta línea base permite detectar los problemas técnicos, como áreas de oportunidad, para así orientar, adecuadamente, las acciones a realizar para solucionar esta problemática. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización socioeconómica de las UPF que conforman dos de los PRODETER establecidos en la zona centro del estado de Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El PRODETER Chenes se ubica en el municipio de Hopelchén, al norte del Estado de Campeche, en las coordenadas geográficas 89° 24' a 90° 06' de longitud oeste y 18° 57' a 20° 10" de latitud norte. Su superficie territorial es de 7,956.7 km², lo que representa el 10.70% de la superficie estatal y, según el uso de suelo, 8.07% corresponde a agricultura, 2.17% a pastizal, 0.17% zonas urbanas y 0.07% asentamientos humanos, mientras que la superficie restante con vegetación está representada por selva (89%), sabana (0.39%) y tular (0.01%). Por su parte, el PRODETER Isla se ubica en el municipio del Carmen, al suroeste del Estado de Campeche, en las coordenadas geográficas 90° 29' a 92° 28' de longitud oeste y 17° 52' a 19° 01" de latitud norte. Su superficie territorial es de 9,702 km², lo que representa el 16.3% de la superficie estatal; en cuanto al uso de suelo para el territorio de Carmen, 11.7% corresponde para uso agrícola, 31.4% a pastizal, 5.2% a selvas, 4.9% a vegetación secundaria, 2.5% de superficie para reforestación, 25% de áreas sin vegetación y 19% para asentamientos humanos (INEGI, 2014) (Figura 12).



Figura 12. Ubicación geográfica de los municipios de Hopelchén y Carmen, Campeche Tomado de INEGI

Procesamiento de la información: El período de estudio comprendió de marzo de 2019 a diciembre de 2020. El instrumento utilizado fue la cédula de diagnóstico inicial diseñada por la Unidad Técnica Especializada Agrícola (UTEA), adaptada para las condiciones de este trabajo. Mediante un muestreo dirigido, se realizó una entrevista cara a cara con 35 productores de los PRODETER Chenes e Isla, pertenecientes a la cadena agroalimentaria maíz; dicha cedula contenía los siguientes módulos: a) datos de identificación del productor (nombre, localidad, municipio, estado), b) características del productor: edad (años), escolaridad (años cursados), experiencia en el cultivo (años), integrantes de la familia



(número), c) características de la UPF (Tipo de tenencia, escala y objetivo de la producción), d) caracterización tecno-productiva (tipo de cultivo, materiales utilizados, sistema de cultivo, tecnología aplicada, dosis de fertilización, momento de aplicación, manejo del cultivo y control de malezas y e) comercialización: superficie sembrada (ha), rendimiento (t) y destino de la producción. Los datos obtenidos con estos cuestionarios se analizaron con el paquete estadístico *Predictive Analytical Software and Solutions* (PASS) versión 21, para obtener los estadísticos descriptivos, frecuencias y tablas cruzadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del productor y de las UPF: respecto a las características sociodemográficas de los productores, se observó que la edad media de los integrantes de los PRODETER Chenes e Isla fue de 52 años, con rangos que oscilaron entre los 24 y 74 años, indicativo que existe una disminución en la sucesión cultural de trabajo en el campo por parte de los productores jóvenes; en relación a la escolaridad, los datos señalan un promedio de seis años de estudio (sexto grado de primaria); en cuanto al manejo del cultivo, se observó un promedio de 32 años de experiencia como productor de maíz, con rangos que varían de cuatro a 60 años; además, el 60% de los integrantes de las UPF, mencionaron hablar la lengua maya. Datos similares fueron hallados por Uzcanga *et al.* (2015) para las variables edad, escolaridad y experiencia en el cultivo, este antecedente refleja la tendencia de la población joven, a migrar en búsqueda de otras fuentes de trabajo o por estudio (SAGARPA y FAO, 2014). Por otra parte, en cuanto a la tenencia de la tierra se consideran productores de pequeña escala, ya que solamente cuentan en con 2.9 ha en promedio por productor, además de que la mayor superficie establecida es de tipo ejidal (77.1%) y con una orientación al auto abasto, donde los rendimientos de grano no superan las 2.5 t/ha, dichos resultados son coincidentes con los obtenidos para productores del estado de Yucatán, situación que refleja el escenario general que se tiene en las actividades agropecuarias de la Península de Yucatán (SAGARPA y FAO, 2014; Uzcanga *et al.*, 2021) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Características Socioeconómicas y culturales de la cadena maíz en los PRODETER Chenes e Isla del Estado de Campeche

Características	Descripción
Integrantes de la familia (No)	4.5
Edad promedio (años)	52
Escolaridad promedio (años)	6
Experiencia promedio (años)	32
Maya hablante (%)	60
Escala de producción promedio (ha)	2.9
Tenencia de la tierra (régimen)	Ejidal (77.1%), Propiedad (11.4%) y otro régimen (11.4%)
Objetivo de la producción	Autoconsumo (88.6%) y venta (11.4%)
Rendimientos (t/ha)	2.1

Características tecno-productivas

Se encontró que el monocultivo fue el sistema de producción prevaleciente en los PRODETER Chenes e Isla, pertenecientes a la cadena agroalimentaria de maíz y que el 45.7% de los productores prefieren el uso de semillas híbridas, seguido por las variedades (31.4%) y por último el empleo de simientes criollas, con solamente el 22.9%. Estas características son contrastantes con otros PRODETER de la Península de Yucatán donde el cultivo de maíz se realiza en asociación con otros cultivos como frijol y calabaza chihua, además de que los productores prefieren semillas criollas sobre las híbridas (Uzcanga *et al.*, 2021), por sus preferencias en sabor y por ser el ingrediente principal de su dieta (De los Santos-Ramos *et al.*, 2017) (Cuadro 13).

En relación a la tecnología empleada, se observó que el 54.3%, de los productores preparó su terreno y la siembra la realizó de forma manual (77%), estos datos son, de alguna manera, coincidentes con los reportado por Uzcanga *et al.* (2020), para los productores de los estratos 1 y 2 de Campeche, donde indica que, en la mayoría de las UPF evaluadas, se encontró que tanto la preparación del terreno como la siembra se realizaron de manera manual (Cuadro 13). En este escenario, la principal problemática



enfrentada por los productores fue el acceso a la maquinaria (51% tuvieron dificultad para conseguir maquinaria y 28% mencionaron escasos de tractores e implementos); también hicieron referencia a los altos costos de los servicios de maquinaria (17%) y, en menor medida, la informalidad de los operadores (4%).

Cuadro 13. Características tecnológicas y de manejo de la cadena maíz en los PRODETER Chenes e Isla del estado de Campeche

Características	Descripción
Sistema de cultivo	Monocultivo (77.1%) y Policultivo (22.9%)
Materiales utilizados	Híbrido (45.7 %), Variedad (31.4%) y Criolla (22.9%)
Tipo de cultivos	Frijol (11.1%), Calabaza chihua (33.3%), Hortalizas (33.3%) y Frutales (22.2%)
Tecnología aplicada	Preparación del terreno: manual (54.3%) y maquinaria (45.7%) Siembra: manual (71.4%) y maquinaria (28.6%)
Dosis de la primera fertilización	18-46-00 N-P-K (22.9% aplicó 100 kg/ha), (8.6% aplicó 100 kg/ha) y (2.9% aplicó 200 kg/ha); 17-17-17 N-P-K (51.7% aplicó 100 kg/ha).
Momento de aplicación de fertilizante	A los 15 días de la siembra (40%), junto con la siembra (34.3%), a los 30 días de la siembra (17.1%) y no fertilizó (8.6%).
Segunda aplicación de fertilizante	A los 45 días de la siembra (34.3%) y no fertilizó (65.7%)
Dosis de la segunda fertilización	18-46-00 N-P-K (17.1% aplicó 100 kg/ha) 17-17-17 (17.1% aplicó 100 kg/ha).
Manejo del cultivo	Malezas (94.3%), plagas (82.9%) y enfermedades (14.3%)
Control de maleza	Herbicida (49.3%), Deshierbe (24.6%) y Chapeo (26.1%)

Respecto a la fertilización, el 100% de los productores señalaron realizar al menos una fertilización al cultivo. En cuanto a la dosis usada en la siembra, se observa que el 51.7% de los productores aplicaron el fertilizante triple 17-17-17 de N-P-K, en una dosis de 100 kg/ha; seguido con un 22.9% que utilizaron fosfato diamónico (DAP) 18-46-00 de N-P-K, en dosis de 100 kg/ha, de acuerdo a lo recomendado por el INIFAP en el paquete tecnológico para este cultivo para el Estado de Campeche (SAGARPA *et al.*, 2017). Respecto al momento en que se realizó la fertilización, se observa que un 34% fertiliza al momento de la siembra y un 40% lo aplica 15 días posteriores a esta. Solamente el 8.6% de los agricultores señalaron no realizar ningún tipo de fertilización. Por otro lado, se denota que en la mayoría de las UPF no realizó la segunda fertilización (65.7%) y el 34.3% que lo efectuó fue a los 45 días de la primera fertilización, utilizando tanto el DAP 18-46-00 (17%) como el triple 17-17-17 (17%) en dosis de 100 kg/ha. En cuanto a las actividades de control en el cultivo de maíz, los resultados muestran que la maleza (94.3%) y las plagas (82.9%) son los principales problemas que aquejan al productor, ya que solamente el 14% señaló controlar las enfermedades. Cuando se preguntó la forma de controlar la maleza, los datos revelaron que el 50.7% utilizaron el deshierbe o chapeo como método de control y el resto los herbicidas (Cuadro 13). Esta situación coincide con lo ya reportado para el Estado por Uzcanga *et al.* (2020), aunque no se apegan a lo sugerido en el paquete tecnológico propuesto por el INIFAP (SAGARPA *et al.*, 2017).

Producción y comercialización

La superficie promedio sembrada, para ambos PRODETER, fue de 2.9 ha, con un rendimiento promedio de 2.1 t, lo que contrasta con lo reportado por Uzcanga *et al.* (2015), trabajo en el que la superficie promedio por unidad fue de 7.3 ha, con un rendimiento de 3.9 ton ha⁻¹ y, particularmente para la zona centro del estado, donde se ubican los territorios bajo estudio, la superficie promedio sembrada fue de 8.72 ha, con un rendimiento de 4.11 ton ha⁻¹; asimismo, García-Salazar y Ramírez-Jaspeado (2013) mencionaron que, para obtener los rendimientos ideales en la Península de Yucatán (1.3 y 2.2 t ha⁻¹), la superficie sembrada requerida, por UPF, para alcanzar la producción potencial, debería de ser de 30 ha. Por lo anterior, se infiere la importancia de dirigir la capacitación y transferir la tecnología hacia la adopción de los paquetes tecnológicos del INIFAP, para lograr así obtener los rendimientos potenciales requeridos para el desarrollo socioeconómico de los territorios. En cuanto al destino de esta producción,



al igual que lo ya reportado para Campeche y para México en general (SAGARPA y FAO, 2014; Uzcanga *et al.*, 2015), la mayor cantidad (82.9%) fue destinada para el autoconsumo y, en menor medida, se vendió a intermediarios o tiendas de la comunidad (Cuadro 14).

Cuadro 14. Características de producción y comercialización de la cadena maíz en los PRODETER Chenes e Isla, Campeche

Características	Descripción
Superficie sembrada con maíz (ha)	1.0 (mínimo), 10.0 (máximo), 2.94 (media), 1.84 (DE)
Rendimiento (t)	0.0 (mínimo), 11.0 (máximo), 2.10 (media), 2.28 (DE)
Destino de la producción	11.4% (venta), 82.9% (autoconsumo)

En general, las unidades de producción familiar (UPF) en estos PRODETER, al igual que la mayoría de las de México, se caracterizan por tener pocos integrantes y, aunque pudiera haber cierta división del trabajo en ellas, es el jefe o jefa de la unidad quienes principalmente se dedican a las actividades del campo; estos, debido a que obtienen bajos ingresos por las ventas de sus cosechas, deben dedicarse a actividades complementarias para sostener a su familia (Bahena-Delgado y Tornero-Campante, 2009; SAGARPA y FAO, 2012; SAGARPA y FAO, 2014). Asimismo, también como la mayoría de las UPF en el país, se encuentran en el Estrato 1 (Familiar de subsistencia sin vinculación al mercado) y en el Estrato 2 (de subsistencia con vinculación al mercado), estratificación basada en el valor de las ventas por Unidad (SAGARPA y FAO, 2014).

Estas UPF se identifican, además, por tener un bajo desarrollo de capacidades técnicas, productivas y empresariales, derivado esto por el bajo nivel de escolaridad, el inadecuado acceso a la información económica, así como al bajo conocimiento técnico-productivo por parte de sus integrantes. Asimismo, es característico en estas Unidades el bajo nivel de productividad, ocasionado por la falta de incorporación de tecnologías, baja capacidad de gestión y dotación de bienes capitales (SAGARPA y FAO, 2014). Otra característica de estas unidades de producción, compartido con el general para el país, es que son de tipo ejidal, con pequeñas superficies para el cultivo, con suelos de buena calidad, pero poca disponibilidad de agua; sin embargo, aunque cuentan con estos recursos, no se han podido organizar de manera eficiente para adquirir insumos y, de esa manera producir cosechas a mayor escala y comercializar sus productos, lo que limita sus posibilidades de acceder a diversos mercados (Bahena-Delgado y Tornero-Campante, 2009; SAGARPA y FAO, 2014).

CONCLUSIONES

Las condiciones socioeconómicas de las UPF de los PRODETER Chenes e Isla del estado de Campeche tienen un impacto negativo en las capacidades de los productores para la adopción adecuada de las tecnologías y aprovechamiento de los insumos, por lo que las actividades de extensión deberán ser diseñadas acorde a estas condiciones y, de esa manera, poder incrementar los rendimientos y la productividad de las UPF.

La baja adopción de los productores por el paquete tecnológico del INIFAP en el cultivo de maíz y la insuficiente capacidad de inversión productiva de las UPF de la zona centro de Campeche, se ve reflejada en los bajos rendimientos del cultivo y el escaso aumento de las capacidades de los productores derivado del poco o nulo acceso a los servicios de extensión.

El programa deberá ser permanente en la consolidación de empresas rurales mediante la asociación de varias UPF, para lograr incrementar la superficie establecida, así como los rendimientos de la misma y, de esa manera, poder obtener una producción que, además de subsanar sus necesidades de autoconsumo, les permita competir en los diferentes mercados.

LITERATURA CITADA

- Bahena-Delgado, G., y Tornero-Campante, M. A. 2009. Diagnóstico de las unidades de producción familiar en pequeña irrigación en la subcuenca del Río Yautepec, Morelos. *Economía, sociedad y territorio*, 9(29): 165-184.
- De los Santos-Ramos, M., Romero-Rosales, T., y Bobadilla-Soto, E. 2017. Dinámica de la producción de maíz en México de 1980-2014. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2): 439-453.



-
- DOF. 2019. Anexo Técnico de Ejecución para la operación del Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria para el ejercicio presupuestal 2019. SADER, México. 10 p.
- García-Salazar, J. A., y Ramírez-Jaspeado, R. (2013). El tamaño de las unidades de producción de maíz (*Zea mays* L.): un desafío para elevar la tasa de utilización de semilla mejorada. *Agrociencia*, 47(8), 837-849.
- INEGI. 2014. <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0180> (consultado el 01 de junio de 2021).
- SAGARPA y FAO. 2012. Agricultura familiar con potencial productivo en México. SAGARPA, FAO, México. 537 p.
- SAGARPA, COFUPRO, INIFAP, 2017. Agenda Técnica Agrícola de Campeche. INIFAP, México. 88 p.
- SAGARPA y FAO. 2014. Diagnóstico del sector rural y pesquero de México 2012. SAGARPA, FAO, México. 86 p.
- Uzcanga, N., Cano, A., Medina, J., y Espinoza, J. 2015. Caracterización de los productores de maíz de temporal en el Estado de Campeche, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36(19): 1295-1305.
- Uzcanga, N., Cano, A., y Cadena, P. 2021. Estrategia para el fortalecimiento de las unidades de producción familiar milpa tradicional. *Agroproductividad*, 14(4): 119-125.
- Uzcanga-Pérez, N., Chanatásig-Vaca, C., y Cano-González, A. 2020. Sustentabilidad socioeconómica y ambiental de los sistemas de maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5): 993-1004.



ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA PROFESIÓN DE EXTENSIONISTAS, EN LA CAPACITACIÓN DE CAPRINOCULTORES Y OVINOCULTORES DEL ESTADO DE GUANAJUATO

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE EXTENSIONIST PROFESSION ON THE TRAINING OF GOAT AND SHEEP FARMERS IN THE STATE OF GUANAJUATO

¹Luna Estrada AA, ¹Velez Izquierdo A, ²González Orozco TA

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENIDFyMA) del INIFAP. km. 1 Carr. a Colón, Ajuchitlán, Colón, Qro., C.P. 76280, México. ²Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP. km 6.5 Carr. Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Gto. C.P. 38010, México.

Autor para correspondencia: luna.america@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se evaluó la profesión de los extensionistas que dieron asistencia técnica (AT), durante 10 meses a 32 GGAVATT (Grupos Ganaderos de Validación y Transferencia de Tecnología) de los sistemas producto caprino (SPC) y ovino (SPO) del estado de Guanajuato; para identificar si tuvo influencia sobre los temas de capacitación propuestos en los programas de trabajo (PT). En una base de datos se compiló la información de los PT y formatos de seguimiento técnico de ambos sistemas producto (SP). Se generaron las variables manejo general (ManG); registros técnicos (RegT); Registros económicos (RegEco); nutrición y alimentación (NutyA); reproducción (Rep); genética (Gen), sanidad (San); pruebas diagnósticas (PDx); manejo de la ordeña (MaOrd); forrajes (Forr); ensilaje (Ens); organización y valor agregado (OryValA); conservación de recursos naturales (CRNat); y otros temas (OT). Los resultados mostraron que el SPC tuvo más grupos, productores beneficiados y asistencia a capacitarse (20, 600 y 68%, respectivamente) y en SPO 12, 360 y 54%, respectivamente; con asistencia promedio a cada evento de 20.3 ganaderos en SPC y 17.4 en SPO ($P > 0.0007$). La profesión de los extensionistas no se distribuyó homogéneamente ($\chi^2 = 13.51$; $n = 320$; $P < 0.01$); predominando en ambos SP los M.V.Z. (80.0 y 75.0%, SPC y SPO, respectivamente) y en los I.A.Z. 15.0 y 25%. En las temáticas consensuadas, el SPC realizó 55.0% y SPO 40.8%; en ambos SP las áreas de mayor interés fueron San, NutyA y Rep. Los temas alternos de capacitación no presentaron diferencias estadísticas, pero la San continuó siendo importante; el SPO incrementó el interés por ManG y el SPC en PDx y Ens. Los operadores del programa de AT en el estado, no deben pasar por alto las áreas del conocimiento que los extensionistas deban dominar, preferentemente, antes de ser contratados; y de acuerdo al SP donde participarán.

Palabras clave: *extensionistas, profesión, desempeño, ganaderos, GGAVATT.*

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de lograr un mayor impacto en el desempeño del trabajo de extensión y la transferencia de tecnología (TT) en el campo mexicano, los programas de capacitación y asistencia técnica (AT) a productores agropecuarios han experimentado modificaciones en los últimos decenios. Se ha documentado ampliamente que los componentes fundamentales de los servicios de extensión son la AT, TT y la capacitación; asimismo, se reconoce que para lograr una mayor eficacia en la “extensión de los saberes” es necesario que opere en un esquema de cooperación entre ganaderos, instituciones de investigación y de enseñanza superior, además de los representantes del gobierno federal y de los estados, creados para tal fin. Uno de los objetivos de estos programas ha sido que los productores adquieran o fortalezcan conocimientos, con lo cual se esperaría una mayor capacidad de implementar nuevas tecnologías en sus unidades de producción (UP) y también dar continuidad en el uso de aquellas que ya conocen; lo anterior, en favor de que su actividad resulte más eficiente y productiva (Muñoz y Santoyo, 2010; Cadena *et al.*, 2015; Rendón *et al.*, 2015). En este contexto, uno de los actores relevantes en dicho proceso son los extensionistas, también llamados asesores técnicos o Prestadores de Servicios Profesionales (PSP), de acuerdo con las diferentes etapas por las que ha atravesado este



mecanismo de enseñanza-aprendizaje; quienes históricamente han realizado la función de extender o transferir conocimientos a los productores, ya sea en la práctica privada o integrados en los programas gubernamentales de apoyo al campo. Por lo general, los PSP que trabajan en este esquema son los principales proveedores de tecnologías e innovaciones (generadas por investigadores o centros de investigación), así como del desarrollo de las capacidades de los ganaderos y supervisar que las implementen en las UP. Asimismo, la calidad de los servicios recae en buena medida en sus habilidades y experiencia profesional, pese a lo anterior, difícilmente son sometidos a procesos de selección eficaces, con base en sus aptitudes y formación académica; tampoco se ha evaluado de manera consistente su desempeño con los productores y la calidad en el servicio (con excepción de algunos periodos de los programas), desconociendo con claridad si cuentan con las habilidades suficientes para realizar su labor. Diferentes estudios concuerdan que los cambios constantes en las políticas de TT e innovación, reflejan que aún no existe un verdadero mecanismo que articule los esfuerzos y recursos de los organismos públicos y privados (y demás actores relacionados) en el proceso de capacitación y TT nacional. Del mismo modo, mencionan que el éxito o fracaso de los programas de AT depende en gran medida de los productores y de la región donde se encuentren, lo que incide de manera importante en el trabajo realizado por los extensionistas y los problemas que enfrentan constantemente; uno de ellos, es la poca o nula actualización profesional de los mismos, o cuando la tienen, la calidad puede ser inadecuada (Muñoz y Santoyo, 2010; Cuevas y del Moral, 2012; Amaro y de Gortari, 2016). En el estado de Guanajuato el proceso de tecnificación y TT de las UP caprinas y ovinas (en el sistema familiar), se realizó en los últimos 20 años por extensionistas insertos en los programas de AT y capacitación, gracias a la coordinación entre el Gobierno del Estado de Guanajuato, la SAGARPA y el INIFAP; utilizando el modelo GGAVATT (Grupos Ganaderos de Validación y Transferencia de Tecnología) como estrategia de organización para lograr el desarrollo de capacidades, innovación tecnológica, así como la mejora en la producción y calidad de vida de los agremiados. Del mismo modo, los PSP que trabajan en la metodología GGAVATT tienen la responsabilidad de capacitarse continuamente conforme el grupo avanza (Román *et al.*, 2001). El presente estudio tuvo el objetivo de evaluar si, el perfil profesional de los extensionistas que proporcionaron AT durante 10 meses, tuvo influencia en los temas de capacitación que se impartieron a los productores de los GGAVATT de los sistemas producto (SP) caprino y ovino del estado de Guanajuato, con base en los problemas identificados en los PT.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la información de los programas de trabajo de 32 grupos de los sistemas producto caprinos (SPC) y ovinos (SPO) del estado de Guanajuato que recibieron AT y capacitación organizados como GGAVATT. La metodología GGAVATT plantea que, al inicio del servicio los PSP realicen un diagnóstico línea base (DLB) para cada productor y por cada grupo de productores; a partir de los resultados obtenidos elaboran un programa de trabajo (PT) en el que calendarizan las actividades, innovaciones y capacitaciones que realizará cada grupo, con base en la problemática identificada y poder dar solución a la misma (Román *et al.*, 2001). La AT y capacitación se proporcionó durante 10 meses a través del Programa Apoyo a Pequeños Productores (en el componente de Extensionismo) en 19 municipios del Estado de Guanajuato. En este periodo el INIFAP dio seguimiento al trabajo de los PSP y productores de los SPC y SPO, mediante la evaluación de los PT y los formatos de seguimiento técnico mensual (FST); valorando la programación, el cumplimiento y avance de las actividades técnicas en diferentes áreas de la zootecnia relacionadas con la producción animal. Para definir las disciplinas en las que se programaron las capacitaciones, de acuerdo al contenido de los FST, se crearon las siguientes variables: manejo general (ManG); registros técnicos (RegT); Registros económicos (RegEco); nutrición y alimentación (NutyA); reproducción (Rep); genética (Gen); sanidad (San), pruebas diagnósticas (PDx), manejo de la ordeña (MaOrd), forrajes (Forr), ensilaje (Ens), organización y valor agregado (OryValA), conservación de recursos naturales (CRNat), y otros temas (OT).

Análisis de la información

En una base de datos del programa Excel (Office Microsoft®) se capturó la información de los temas de capacitación propuestos por los extensionistas en los PT de cada GGAVATT de ovinos y caprinos, en el periodo de mayo de 2016 a febrero de 2017. Se incluyeron como variables cualitativas la formación profesional de los PSP, además, si el capacitador fue el propio PSP o un invitado (experto en el tema);



como variable cuantitativa se consideró el número de productores que asistieron a cada capacitación. La información se analizó mediante un análisis de varianza en el programa estadístico JMP® 9.0 (SAS Institute). Para identificar la diferencia en los temas de capacitación y profesión de los técnicos, relacionado con el número de asistentes a las capacitaciones, se calcularon promedios y porcentajes; en el caso de las variables cualitativas se calcularon las frecuencias y se realizó una prueba de homogeneidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra la distribución de los GGAVATT caprinos y ovinos que recibieron AT y capacitación en 19 municipios del estado de Guanajuato. Se observa que el programa tuvo una cobertura estatal de 41.3%, con presencia en 13 municipios del SPC y en 12 en el SPO.

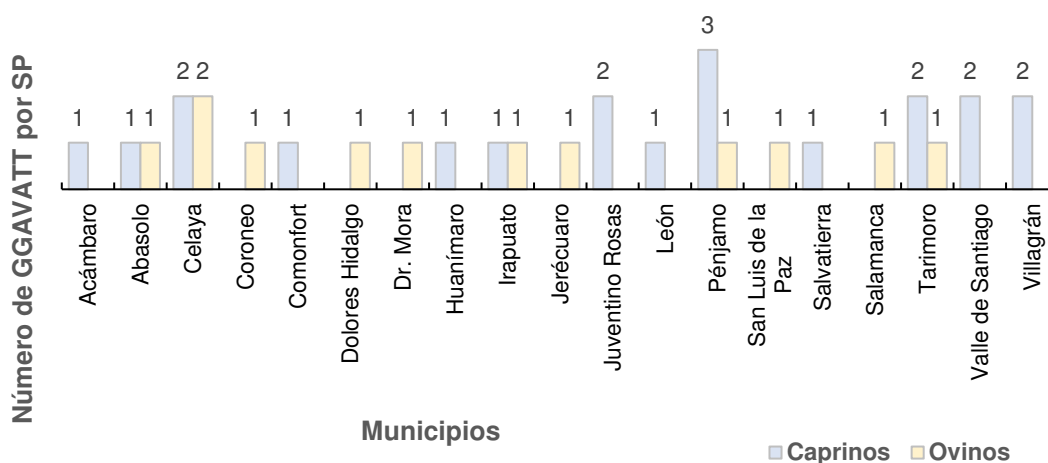


Figura 1. Número de GGAVATT en los SPC y SPO y su distribución en los municipios del estado de Guanajuato. Periodo mayo 2016-febrero 2017.

Al comparar la asistencia a las capacitaciones entre los dos SP, se obtuvo diferencia estadísticamente significativa ($F = 11.74$, $gl = 1, 320$; $P > 0.0007$), que indicó una asistencia promedio de 20.3 productores en el SPC y 17.4 para el SPO; de un total de 320 capacitaciones distribuidas entre ambos.

En cuanto al número de GGAVATT y de productores por SP, y la asistencia a las capacitaciones durante el periodo evaluado, el Cuadro 1 muestra los resultados.

Cuadro 1. Grupos por SP, productores y asistencia a las capacitaciones. Periodo mayo 2016-febrero 2017.

Sistema producto	No. de grupos y PSP	No. de productores	No. de productores asistentes a capacitaciones	No. de capacitaciones recibidas en 10 m
Caprino	20	600	413 (68.0%)	200
Ovino	12	360	194 (54.0%)	120
Total:	32	960	607	320

Fuente: Elaboración propia con información generada en los GGAVATT de Guanajuato en los SP caprinos y ovinos.

El SPC integró más grupos y productores beneficiados, en comparación con el SPO; además, tuvo mayor concurrencia a las capacitaciones en los 10 meses que duró el servicio de AT. De acuerdo con



datos del SIAP (2016) el estado de Guanajuato ocupó el segundo lugar nacional en la producción de leche de cabra y el 10º de carne en canal; lo que quizá fue una de las razones por la cual el SPC fue sobresaliente en número de GGAVATT y productores, en tanto que el SPO presentó la 7ª posición en producción de carne de ovino en canal y una incipiente producción de leche de oveja para la elaboración de quesos. Luna y González (2018) realizaron entrevistas a ovinocultores, caprinocultores, porcicultores, apicultores, y productores de leche de vaca y carne, para conocer la satisfacción en el servicio de AT. En el estudio, uno de los rubros evaluados (calificados por los mismos productores en una escala de 1 a 10 puntos) fue la importancia de las juntas mensuales (reuniones de productores en las que se llevan a cabo la mayoría de las capacitaciones), su participación general en el programa, así como la atención, la capacitación y calidad del servicio de los PSP. Los puntajes promedio obtenidos fueron 9.2, 8.28 y 9.8, respectivamente; si bien, estos resultados no miden la asistencia a eventos de capacitación, muestran de forma indirecta el alto valor que los ganaderos le otorgan a la adquisición de conocimientos a través de las juntas mensuales y la asesoría de los extensionistas, ya que la calificación otorgada a su trabajo fue alta (9.8). Por otro lado, Bustos *et al.* (2008) analizaron el cambio de actitud de ganaderos del estado de Guanajuato que recibieron AT, y encontraron que el 60.0% asistieron a cursos de capacitación proporcionados en el programa. En el presente estudio, el porcentaje de productores que asistieron a capacitarse tanto en el SPC como en el SPO, fueron 68.0 (n= 413) y 54.0 (n= 194), respectivamente (Cuadro 1).

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la distribución de los extensionistas en cada SP, de acuerdo a la profesión y capacitaciones realizadas.

Cuadro 2. Porcentaje de extensionistas, de acuerdo a la profesión y número de capacitaciones efectuadas en los SPC y SPO del estado de Guanajuato. Periodo mayo 2016-febrero 2017.

Concepto	SPC	SPO	Chi cuadrada (χ^2)	P<0.01	gl.
	Profesión (%)				
I.A.Z.	15.0 (n=30)	25.0 (n=30)			
M.V.Z.	80.0 (n=160)	75.0 (n=90)	13.5	0.00012*	2
Otro	5.0 (n=10)	0			
Total:	100	100			

Fuente: Elaboración propia con información generada en los GGAVATT de Guanajuato en los SP caprinos y ovinos.

n= número de capacitaciones realizadas.

I.A.Z.= Ingeniero Agrónomo Zootecnista; M.V.Z.= Médico Veterinario Zootecnista.

La prueba de homogeneidad demostró que la formación de los extensionistas que brindaron capacitación no se distribuyó de forma homogénea entre los grupos de caprinos y ovinos ($\chi^2 = 13.51$; n = 320; P<0.01); el análisis de correspondencia indica que no es lo mismo para los productores del SPC recibir capacitación de M.V.Z, I.A.Z. o de otra profesión relacionada con la actividad, que para los productores del SPO (Cuadro 2). En referencia a lo anterior, Vázquez y Landa (2017) estudiaron el desempeño de 990 extensionistas agropecuarios en un programa de AT, en 31 entidades del país, y la relación entre el perfil profesional. Ellos encontraron que del 82.0% de extensionistas contratados, 59.0% eran M.V.Z. y 23.0% I.A.Z., mientras que en el 18.0% restante, algunos tenían una profesión relacionada con el sector rural (11.0%), pero no al pecuario y 7.0% con otros sectores; información que concuerda con nuestro estudio. Asimismo, el análisis de correspondencia indicó que para los caprinocultores de Guanajuato si es importante la formación académica o profesión en el proceso de desarrollo de habilidades; es decir, si las enseñanzas fueron proporcionadas por un M.V.Z., un I.A.Z. o un profesional relacionado con la actividad productiva. En la investigación de Vázquez y Landa (2017), también analizaron la relación entre la profesión de los PSP y el trabajo realizado, valorado en función de su capacidad para proponer innovaciones tecnológicas para resolver problemas en las UP, así como el desarrollo de capacidades de los productores; en la que concluyeron que los M.V.Z. e I.A.Z tuvieron mejor desempeño, en comparación con aquellos que no tenían una formación agropecuaria (P< 0.05).



Por otro lado, Valdovinos *et al.* (2015) estudiaron a productores de leche de vaca de doble propósito para identificar los factores que tuvieron influencia en la innovación tecnológica y la eficiencia de las UP (esta última variable medida como la producción de litros de leche por vaca por día). Estos autores encontraron que los factores determinantes en la implementación de componentes tecnológicos y mejora en la productividad fueron la escolaridad de los productores, los años de recibir AT y la experiencia de los PSP como asesores y capacitadores.

En los GGAVATT de Guanajuato, cuando las capacitaciones son consensuadas y calendarizadas en los PT, por lo general los extensionistas son quienes las imparten, aunque también poseen el recurso de invitar a un experto en un tema en particular; sin embargo, ocasionalmente surgen eventualidades que impiden que algunas de ellas se realicen o que sea necesario modificar la temática. Por ejemplo, cuando se presentan situaciones imprevistas que requieren atención inmediata y es imprescindible que los productores se capaciten para que adquieran o fortalezcan un conocimiento, como puede ser la presencia de cierta enfermedad o el desabasto de insumos alimenticios que habrían considerado utilizar durante cierta época del año. Otras de las alternativas utilizadas para cumplir con las capacitaciones comprometidas, son las visitas a unidades de producción con tecnologías de interés o la asistencia a eventos demostrativos masivos.

A continuación se muestra el grado de cumplimiento de las capacitaciones y quien fue el agente capacitador en cada SP.

Cuadro 3. Cumplimiento de las capacitaciones y capacitador, en los SPC y SPO del estado de Guanajuato. Periodo mayo 2016-febrero 2017.

Concepto	SPC	SPO
Cumplimiento de las capacitaciones (%)		
Capacitación programada realizada	55.0 (n=110)	40.8 (n=49)
Capacitación programada no realizada	44.5 (n=89)	54.2 (n=65)
Sin evidencia	0.5 (n=1)	5.0 (n=6)
Capacitador (%)		
Extensionista del grupo	95.5 (n=191)	89.2 (n=107)
Capacitador invitado	4.0 (n=8)	5.8 (n=7)
Sin evidencia	0.5 (n=1)	5.0 (n=6)

Fuente: Elaboración propia con información generada en los GGAVATT de Guanajuato en los SP caprinos y ovinos. n= número de capacitaciones.

Los resultados indicaron que la prueba de homogeneidad no resultó significativa para las variables cumplimiento de las capacitaciones programadas y el capacitador. No obstante, en el Cuadro 3 se advierte que el SPC llevó a cabo más del 50.0% de las temáticas programadas, mientras que en el SPO fue de 40.8%; asimismo, el SPC obtuvo el menor porcentaje sin evidencia documental de haberse realizado (listas de asistencias o material didáctico de apoyo entregado a los productores). Respecto a quién fue el capacitador, los extensionistas de cada SP cubrieron la mayoría de los temas, sobresaliendo el SPC con 95.5%; mientras que el SPO tuvo el mayor porcentaje de instructores invitados.

Otro aspecto relevante en la instrucción de los productores es la temática que los técnicos proponen atender en los PT, en función de la problemática detectada en los DLB.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de las capacitaciones consensuadas en los PT.

Cuadro 4. Capacitaciones programadas en los PT en los SPC y SPO de Guanajuato. Periodo mayo 2016-febrero 2017.

Temas de capacitación programadas	SPC (%)	SPO (%)
CRNat	4.1 (n=13)	6.7 (n=8)
Ens	4.4 (n=14)	5.0 (n=6)
Forr	6.9 (n=22)	1.7 (n=2)



Gen	3.4 (n=11)	3.3 (n=4)
ManG	2.8 (n=9)	4.2 (n=5)
MaOrd	0.9 (n=3)	0
NutyA	17.8 (n=57)	21.7 (n=26)
OryValA	4.7 (n=15)	4.2 (n=5)
PDx	1.6 (n=5)	1.7 (n=2)
RegEco	3.8 (n=12)	2.5 (n=3)
RegT	6.6 (n=21)	5.0 (n=6)
Rep	15.6 (n=50)	17.5 (n=21)
San	20.3 (n=65)	15.0 (n=18)

Fuente: Elaboración propia con información generada en los GGAVATT de Guanajuato en los SP caprinos y ovinos.

n= número de capacitaciones.

Para la variable temas de capacitación programados, la prueba de homogeneidad no fue significativa, pero se observa que en ambos SP las áreas de mayor interés fueron San, NutyA y Rep; mientras que el MaOrd y PDx tuvieron menor demanda (Cuadro 4). Al respecto, Cuevas *et al.* (2017) analizaron información procedente de 1128 encuestas aplicadas a extensionistas de cinco cadenas alimentarias del área pecuaria, en 32 estados de la República Mexicana, que participaron en un Programa de Apoyo a Pequeños Productores; así como de los datos recopilados de los PT de 18 entidades, Planes Estratégicos Estatales del Componente (32 entidades) y las Agendas de Innovación Estatales (tres entidades). La finalidad de la investigación fue identificar las necesidades de capacitación de los PSP, y de manera indirecta de los ganaderos, para mejorar sus capacidades y ofrecer a los productores una mayor calidad en el servicio. Los resultados que obtuvieron fueron similares con los del presente trabajo, ya que para los extensionistas encuestados, los temas de capacitación de mayor interés, tanto para la cadena de caprinos como de ovinos fueron la sanidad, alimentación, manejo y reproducción; mientras que la genética, forrajes y administración resultaron menos importantes.

Finalmente, en el caso del cumplimiento de los temas de capacitación comprometidos en los PT y las modificaciones hechas, en el Cuadro 5 se observan los temas alternativos que se llevaron a cabo.

Cuadro 5. Temas alternos de capacitación en los SPC y SPO de Guanajuato. Periodo mayo 2016-febrero 2017.

Capacitación	SPC (%)	SPO (%)
CRNat	2.5 (n=5)	0.8 (n=1)
Ens	10.0 (n=20)	2.5 (n=3)
Gen	0.5 (n=1)	0.8 (n=1)
ManG	3.0 (n=6)	17.5 (n=21)
MaOrd	3.5 (n=7)	0
NutyA	1.5 (n=3)	4.2 (n=5)
OryValA	0.5 (n=1)	0
PDx	7.0 (n=14)	1.7 (n=2)
RegE	1.0 (n=2)	1.7 (n=2)
RegT	1.0 (n=2)	3.3 (n=4)
Rep	1.5 (n=3)	5.0 (n=6)
San	10.5 (n=21)	17.5 (n=21)
Otro	1.5 (n=3)	2.5 (n=3)
Sin evidencia	0.5 (n=1)	5.0 (n=6)

Fuente: Elaboración propia con información generada en los GGAVATT de Guanajuato en los SP caprinos y ovinos.

n= número de capacitaciones.

Al realizar la prueba de homogeneidad, la variable temas alternos de capacitación no presentó diferencias estadísticas; aunque se advierte que, tanto para el SPC como para el SPO, la San continuó



siendo un aspecto importante en el proceso de enseñanza. En el SPO se incrementó el interés por tópicos en el ManG y ligeramente en el SPC; en este último sistema, también aumentó el número de capacitaciones en PDx y Ens. En ambos SP, se observa que el tema de menor interés fue OryValA, que no alcanzó el 1.0% (Cuadro 5). Al respecto, un estudio efectuado en el estado de Baja California Sur, tuvo por objetivo captar las demandas de capacitación para productores y PSP del sistema caprino; encontrando que las capacitaciones propuestas estuvieron dirigidas a las disciplinas de sanidad (46%), reproducción (25%), alimentación (17%), administración (8%) y forrajes (4%). A pesar del interés mostrado, primordialmente en las áreas de sanidad y reproducción, las capacitaciones fueron encaminadas a cubrir temas de alimentación; pues debido a las condiciones agroclimáticas del estado y que la actividad caprina se realizaba principalmente en el sistema extensivo, fue prioritario instruir en la rehabilitación de agostaderos y producción de forraje, ajuste de carga animal, alimentación y nutrición. Los autores concluyen que con esta estrategia lograron encausar a los extensionistas a proporcionar un servicio de AT acorde a las necesidades reales de los productores (Cabada *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados, para los productores del SPC recibir capacitación de un M.V.Z, I.A.Z. o de otro profesionista con actividad similar, no tiene el mismo valor que para los productores del SPO. Esta situación quizá se deba a que en el SPC, la producción de leche demanda un entrenamiento con mayor conocimiento en temas relacionados con la fisiología y salud animal, que debido a su formación en el área clínica, puede ser mejor atendida por un M.V.Z.

La mayor asistencia a capacitarse, por parte de los productores del SPC, posiblemente se debió a que esta actividad representa su mayor ingreso, lo cual los motiva a obtener más conocimiento y desarrollo de habilidades. A diferencia, para los productores del SPO, la producción ovina es una actividad secundaria.

Los temas de capacitación más atendidos por los extensionistas, en los dos SP, fueron en las áreas de nutrición, sanidad y reproducción. Como se sabe, el tema de la alimentación del ganado, en cualquier especie y sistema de producción pecuaria, constituye el factor de mayor impacto en la eficiencia productiva y económica de una explotación; lo cual se relaciona estrechamente con la reproducción y la salud de los hatos. No resulta sorprendente que estos temas de capacitación continúen siendo demandados por los productores, pero si es recomendable que sean cumplidos por los PSP de manera eficaz, aunque principalmente, que los ganaderos desarrollen las habilidades necesarias para implementarlas en la UP y puedan mejorar su productividad.

Los resultados muestran que los operadores de los Programas de Asistencia Técnica en los estados, no deben pasar por alto la capacitación y actualización de los PSP en los temas más demandados por los productores; para ello, es importante que mantengan una vinculación continua con instituciones locales de enseñanza o investigación que apoyen en este proceso .

Aunque de manera indirecta, se observa el perfil técnico deseable de los extensionistas, con base en las áreas del conocimiento de mayor demanda por parte de los productores.

AGRADECIMIENTOS

A la SDAyR del estado de Guanajuato por el financiamiento otorgado al proyecto: *Capacitación, Seguimiento y Evaluación de Prestadores de Servicios Profesionales en Extensión Pecuaria*, a través del cual se obtuvo la información para este estudio. Se agradece también a los productores integrantes de los GGAVATT, a los PSP y Coordinadores de los grupos.

LITERATURA CITADA

- Amaro, R.M., y de Gortari R.R. 2016. Políticas de transferencia de tecnología e innovación en el sector agrícola mexicano. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13:449-471.
- Bustos, C.D.E., Espinosa, G.J.A., González, O.T.A., y Tapia, N.C.A. 2008. GGAVATT en el estado de Guanajuato. Análisis del cambio de actitud en los productores. Publicación Técnica No.1. SAGARPA. INIFAP, Querétaro, México. 61 p.
- Cabada, T.C.A., Osuna, A.J.D., Cuevas, R.V., Meza, S.R., Medina C.N. de J., y Ávalos C.R. 2017. Acciones de apoyo al extensionismo rural para pequeños productores de caprinos en Baja



- California Sur. *In: Memorias de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Acapulco, Gro., México. Vol. I. pp. 674-676.
- Cadena, I.P., Camas, G.R., Rodríguez, H.F.R., Berdugo, R.J.G., Ayala, S.A., Martínez, Z.A., Morales, G.M., Espinosa, P.N., y López, B.W. 2015. Contribuciones del INIFAP al extensionismo en México y la gestión de la innovación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(4):883-895.
- Cuevas, R.V., y Baca, del M.J. 2012. Actores en el desarrollo territorial: elementos relevantes y redes de conocimiento de extensionistas. *Spanish Journal of Rural Development*, 3(4): 63-78.
- Cuevas, R.V., Vázquez, G.R., y Landa, F.E. 2017. Demandas de capacitación técnica de extensionistas y productores pecuarios participantes el componente de extensionismo. *In: Memorias de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Acapulco, Gro., México. Vol. I. pp. 614-616.
- Luna, E.A.A., y González, O.T.A. 2018. Análisis de la percepción de los productores sobre el desempeño de los GGAVATT del estado de Guanajuato. *In: Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático*. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México. p.p. 1441-1451.
- Muñoz, R.M., y Santoyo, C.V.H. 2010. Del extensionismo a las redes de innovación. *In: Santoyo, C.V.H. (ed.) Del extensionismo agrícola a las redes de innovación rural*. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Edo. de Méx., México. p.p. 31-69.
- Rendón, M.R., Roldán, S.E., Hernández, H.B., y Cadena, Í.P. 2015. Los procesos de extensión rural en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1):151-161.
- Román, P.H., Bueno, D.H.M., Aguilar, B.U., Pérez, S.J.M., Rodríguez, Ch.M.A. y Koppel, R.E.T. 2001. Manual del Modelo GGAVATT. Folleto Técnico Núm. 27. INIFAP, Veracruz, México. p.p. 39-46.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Avance acumulado de la producción pecuaria. <http://infosiap.siap.gob.mx> (Consultado 2 de junio 2021).
- Valdovinos, T.M.E., Espinosa, G.J.A., y Vélez, I.A. 2015. Innovación y eficiencia de unidades bovinas de doble propósito en Veracruz. *Sexta Época*, 36:1306-1314.
- Vázquez, G.R. y Landa, F.E. 2017. Relación entre el perfil técnico de los extensionistas pecuarios y su desempeño. *In: Memorias de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Acapulco, Gro., México. Vol. I. p.p. 608-610.



MANIPULACIÓN POSCOSECHA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) PARA SU APLICACIÓN POR PEQUEÑOS PRODUCTORES

POST-HARVEST HANDLING OF COCOA FOR ITS APPLICATION BY SMALLHOLDERS

¹Hernández-Hernández C¹, Sánchez-García J., ¹Sánchez-García W., ¹García-Arias V., ²Caballero Pérez JF²

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Huimanguillo. Km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas No. 17, Colonia El Desecho. C.P.86400.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Km 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán, Rosario Izapa, Tuxtla Chico. Tapachula, Chiapas. C.P. 30870.

*Autor para correspondencia: hernandez.carolina@inifap.gob.mx, carolina_1112@yahoo.com.mx

RESUMEN

El manejo poscosecha de cacao, principalmente la fermentación y el secado son etapas clave para el desarrollo de los compuestos precursores del sabor y aroma del chocolate. El buen desarrollo de las mismas depende del cuidado que se tiene sobre todo en las prácticas de remoción del grano y el tipo de contenedor utilizado. En el presente estudio se llevó a cabo la comparación de condiciones de fermentación de dos cultivares de cacao cultivados en la Región de la Chontalpa del Estado de Tabasco que fueron criollo y forastero. Se utilizaron cajas cuadradas de madera con capacidad para 25 y 50 kg de grano fresco. Después de terminada la fermentación de tres y cuatro días en el forastero y cinco días en el criollo se llevó a secado en secador tipo invernadero hasta obtener una humedad de grano por debajo de 8%. Se registraron las variables de temperatura, ph y sólidos solubles totales. Las pruebas de calidad consistieron en el análisis de grado de fermentación, tamaño de grano, humedad, proporción de cascarilla, grasa y fenoles totales. Dichas variables se analizaron mediante un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey a un nivel de confianza de 99.5 %. Los resultados demostraron que las cajas con volumen para 25 y 50 kg son aptas para llevar a cabo la fermentación de forma correcta tanto para el cultivar criollo como para el forastero al obtenerse grados de fermentación por encima de 990, después de haberse alcanzado las condiciones de temperatura y ph necesarios para el buen desarrollo de la misma.

Palabras clave: *Fermentación, Calidad de grano, Tabasco, Cajas de madera.*

INTRODUCCIÓN

El cacao, es un cultivo perenne ampliamente cultivado en regiones tropicales, entre las latitudes 10°N y 10°S a partir del Ecuador (ICCO, 2018). La producción de grano de cacao seco alcanzó en el año 2018 los 5.2 millones de toneladas, y continúa en aumento. (FAOSTAT, 2020; Hernández-Hernández et al., 2021). En México, la producción de cacao presenta un gran potencial y también muestra una tendencia ascendente, ya que desde el año 1960 hasta el 2013 el crecimiento ha sido del 37% y en los próximos años se prevé un incremento del 0.5% anual (actualix.com, 2016). En ambos casos este crecimiento en la producción de cacao responde al incremento de la demanda a nivel mundial de los productos derivados. En México la producción de cacao se concentra en dos estados productores que son Tabasco y Chiapas (SIAP, 2020), en ambos casos el 90 % de la producción de cacao está en manos de productores que cuentan con pequeñas fincas que van de 2 a 4 has (Hernández-Hernández et al., 2020), que coincide con la tendencia a nivel mundial de acuerdo con Arvelo et al., 2017. El sabor final del chocolate está determinado por diversos factores los cuales son el origen genético, las condiciones de cultivo y el procesamiento (Clapperton,1994; Beckett, 2003; Whitefield, 2005). Dentro del procesamiento, la etapa poscosecha que comprende las operaciones de desgrane, fermentación, secado y almacenamiento del grano seco es una práctica común en la zona productora de cacao de Tabasco, específicamente en la región de la Chontalpa, misma que se realiza en centros de acopio a donde los productores llegan a vender su cacao en baba. En la zona productora de la Sierra, los



productores secan su cacao, generalmente previo lavado, y lo venden como producto seco beneficiado. Por otra parte, la fermentación es una de las etapas de mayor impacto en la calidad del cacao ya que tiene la finalidad de desarrollar los compuestos de sabor y aroma, inactivar el embrión y generar un grano seco bajo en amargor y astringencia que resulte en chocolate de alta calidad (Kadow et al., 2015). Sin embargo, existe un amplio desconocimiento por parte de los productores acerca de la forma y la importancia de las buenas prácticas para el óptimo desarrollo de esta etapa. Por lo anterior, en el presente trabajo se llevó a cabo una serie de experimentos de manejo poscosecha de cacao a pequeña escala con el objetivo de contar con recomendaciones de buenas prácticas para los productores que deseen llevar a cabo el manejo poscosecha del grano y darle un valor agregado al mismo. En el experimento se midieron diversas variables como la temperatura, el pH, los sólidos solubles totales, la acidez total, así como también se llevó a cabo la determinación de algunas variables típicas de determinación de calidad final de grano como la prueba de corte, humedad, contenido de grasa y fenoles totales en el cotiledón para demostrar la efectividad de los métodos de fermentación expuestos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y reactivos. Se utilizaron muestras de cacao de los cultivares criollo y forastero cosechadas en huertas de la región de la Chontalpa Tabasco, mismas que fueron previamente fermentadas en cajones de madera con capacidad para 25 y 50 kg. Los reactivos utilizados fueron n-hexano, folin-ciocalteu, ácido gálico, metanol, ácido clorhídrico, bicarbonato de sodio y agua destilada.

Cosecha. Se llevó a cabo la cosecha manual de mazorcas con ayuda de tijera y luco de las variedades forastero y neocriollo cultivados en huertas de distintas localidades de la región de la Chontalpa, Tabasco durante el periodo marzo-mayo de 2021.

Partido y desgrane. Una vez cortadas, las mazorcas en estado óptimo de madurez y libres de enfermedades y de daños por plagas, se trasladaron al área de manejo poscosecha del campo experimental Huimanguillo donde se abrieron con la ayuda de un machete para extraer el grano del interior y después se colocaron en las cajas de madera para dar inicio a la fermentación.

Fermentación. La etapa de fermentación se llevó a cabo en cajas cuadradas de la especie maderable melina (*Gmelina arborea*) diseñadas para dos volúmenes (25 y 50 kg). La fermentación tuvo una duración de tres a cinco días. Las variables que se registraron fueron los sólidos solubles totales, pH y temperatura mediante equipos portátiles de la marca HANNA. También se observó mediante fotografía de corte transversal el aspecto interior del grano. El grano se removió de una caja a otra una vez cada 24 horas hasta el final de la fermentación para favorecer las reacciones aerobias.

Secado del grano. Se llevó a cabo en un secador solar tipo invernadero. El grano se removió periódicamente (cada dos horas) durante el día. Se registró diariamente la humedad hasta obtener granos por debajo de 8%.

Prueba de corte. Se analizaron 100 granos secos para determinar la humedad, daño por hongo, daño por insecto, materia extraña, tamaño (granos/100g), pacha, pizarrosos, violetas, bien fermentados y proporción de cascarilla. El grado de fermentación se reportó de acuerdo con la fórmula utilizada previamente por Puziah et al, 1998:

Puntuación de la prueba de corte = (10*%café) +(5*%parcialmente violetas/café) +(0*%violetas y pizarrosos)

Preparación de extractos fenólicos. El grano seco fermentado de cacao se descascaró de forma manual. Posteriormente se extrajo la grasa del cotiledón y cascarilla por separado durante ocho horas mediante un extractor goldfish con hexano como solvente. La muestra desgrasada se pasó por un tamiz de 0.5 micrometros. Se pesó 0.05 gramos de muestra y se llevó a doble extracción adicionando 3 ml metanol al 80%. Se reguló el ph a 3 con HCl al 5% y después de agitar en vortex durante 1 minuto se llevó a 70°C durante una hora en baño de agua, posteriormente se centrifugó a 628 g y se recuperó el sobrenadante.

Determinación de fenoles totales. Se realizó mediante el método folin-ciocalteu como describen Singleton et al. (1998) y Hernández-Hernández et al. (2021). La muestra se diluyó en proporción 1:20 para realizar la medición. Se agregó 0.8 ml de la dilución anterior, posteriormente se agregó 3.2 ml de Na₂CO₃ 0.7 M y por último 4 ml de reactivo de folin 0.2 M. Se dejó reposar durante diez minutos antes de su lectura en espectrofotómetro spectronic 200 a 655 nm.



Recta patrón. Se diluyó 25 miligramos de ácido gálico en 100 ml de una solución de metanol:agua al 50%, posteriormente se realizó una dilución 1:40 para realizar la curva tipo con las proporciones descritas en la Tabla 1. Con la ecuación obtenida de la curva tipo se calculó el contenido de fenoles totales en las muestras.

Tabla 1. Diluciones de la recta patrón para la determinación de fenoles totales.

Ácido gálico (ml)	Metanol al 50% (ml)	Concentración de ácido gálico (microgramos)
0	0.8	0
0.2	0.6	1.25
0.4	0.4	2.5
0.6	0.2	3.75
0.8	0	5

Análisis estadísticos. Los datos se analizaron mediante la hoja de datos Microsoft Excel y el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS). Se realizó análisis de varianza y comparación de medias de Tukey a un valor de alfa de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables que se registraron durante el proceso de fermentación fueron la temperatura interior y exterior de la caja con el grano de cacao, los sólidos solubles totales de la pulpa del grano, el pH dentro de la caja de fermentación y el pH y la acidez total del grano. También se observó mediante corte transversal el aspecto interior del grano. Uno de los aspectos importantes a tomar en cuenta durante la fermentación a la par del agotamiento del sustrato (drene de pulpa) es el incremento de la temperatura al interior de las cajas de fermentación, ya que bajas temperaturas dan lugar a baja calidad de la fermentación (Lehrian and Patterson, 1983; Kadow et al., 2015; Hernández-Hernández, 2016). En el experimento en ambos tratamientos este incremento se observa de forma clara como se muestra en la Figura 1 tanto en el cultivar forastero como en el neocriollo. El tiempo de fermentación del cultivar forastero fue de cuatro días durante el cual se alcanzó la temperatura máxima de 45°C. Se observó como la caja de 25 kg alcanzó un pico máximo el segundo día y al tercero se registró un descenso de 5°. La caja de 50 kg mantuvo los 45°C durante el tercer y cuarto día de la fermentación. El cultivar neocriollo registró la temperatura máxima de fermentación al tercer día, con marcados descensos en los días posteriores como se observa en la Figura 6. Si se comparan ambos cultivares se observó que en las cajas del cultivar neocriollo se incrementó de forma menos drástica la temperatura, en el que se alcanza hasta el segundo día temperaturas por alrededor de los 40 grados y en el forastero en el primer día, aun mas este comportamiento se intensifica en las cajas con volumen de 25 kg donde al tercer día se registró un descenso de la temperatura y las pruebas de fermentación en los granos indicaron que estaba completa, ya que al realizar el corte transversal se observó que más del 80% de los granos se encontraban agrietados, de color café y con presencia de exudado también color café (Figura 2). El color café de los granos es el resultado del hidrolisis de los compuestos fenólicos por la acción de glicosidasas durante la fermentación, lo cual da lugar a la reducción del amargor y la astringencia (Lopez and Quesnel, 1973; Biehl et al., 1990; Lopez and Dimick, 1991; Lopez and Dimick, 1995).

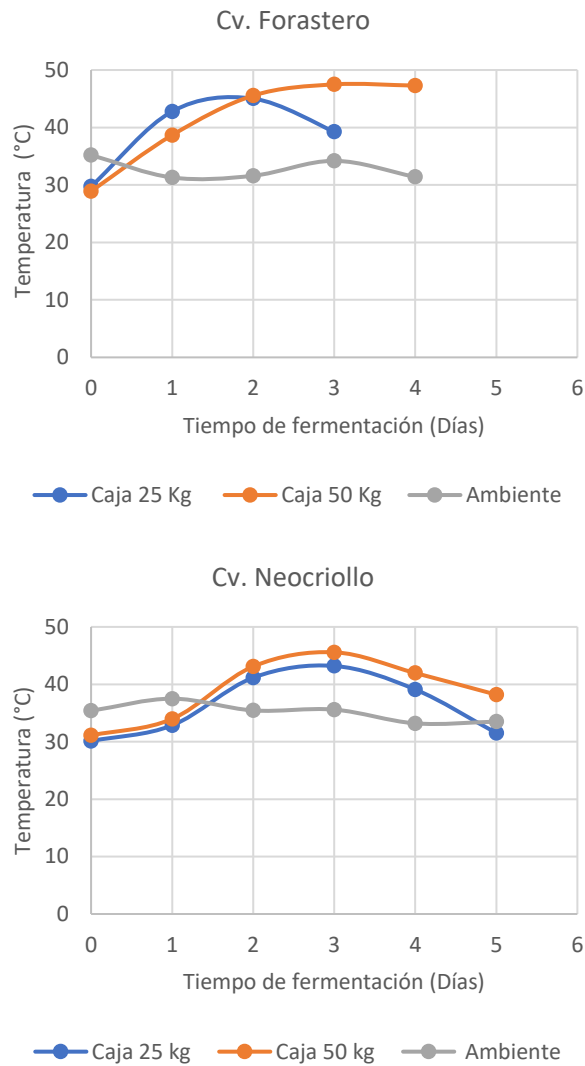


Figura 1. Comportamiento de la temperatura durante la fermentación del grano de cacao cv. forastero y cv. neocriollo.

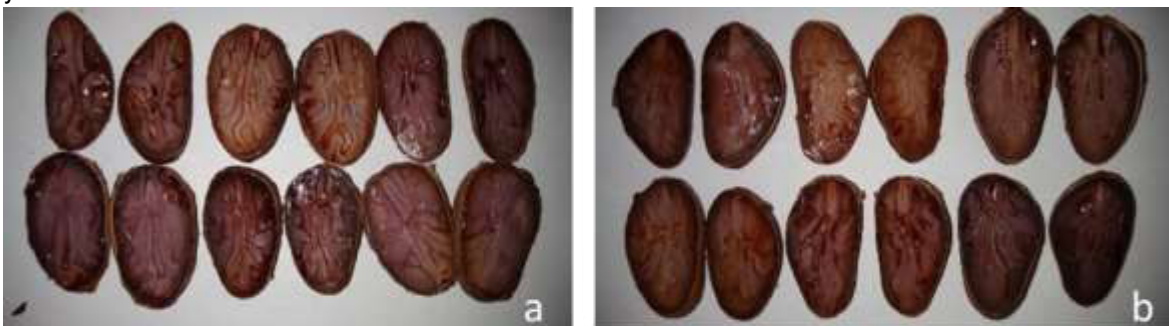


Figura 2. Grano del cv forastero al tercer (25kg, a) y cuarto (50kg, b) día de fermentación.

Con respecto a los sólidos solubles totales en la pulpa de cacao, se registró contenido de 16-17°Bx en ambos cultivares al momento de la cosecha mismos que se agotaron el primer día de la fermentación,



ya que al segundo día ya no se detectó la presencia de sólidos solubles (Datos no mostrados). Los sólidos solubles que son los azúcares y ácidos presentes en la pulpa, son el sustrato utilizado por las levaduras, primeros microorganismos presentes en la fermentación y que son responsables de la producción de etanol en condiciones anaerobias (Kadow et al, 2015). En el pH se observó un descenso en el cultivar forastero al primer día de la fermentación y un ascenso en el segundo día. En el cultivar neocriollo se registró descenso en el segundo día y posteriormente un incremento constante hasta el quinto día de la fermentación (Figura 3), este descenso de pH podría estar relacionado con el incremento de la acidez de los granos debido a la producción de ácido láctico por la actividad de las bacterias ácido-lácticas que de acuerdo con Kadow et al. (2015) ocurre simultáneamente al incremento de la temperatura. Durante esta fase es importante favorecer la presencia de oxígeno en la masa de fermentación lo cual se logra mediante remoción del grano al cambiarlo de caja al menos una vez por día. El efecto del calor y la acidificación causa la degradación de diversos compuestos almacenados en el grano como las proteínas y los carbohidratos dando lugar a la formación de los compuestos precursores del sabor del chocolate.

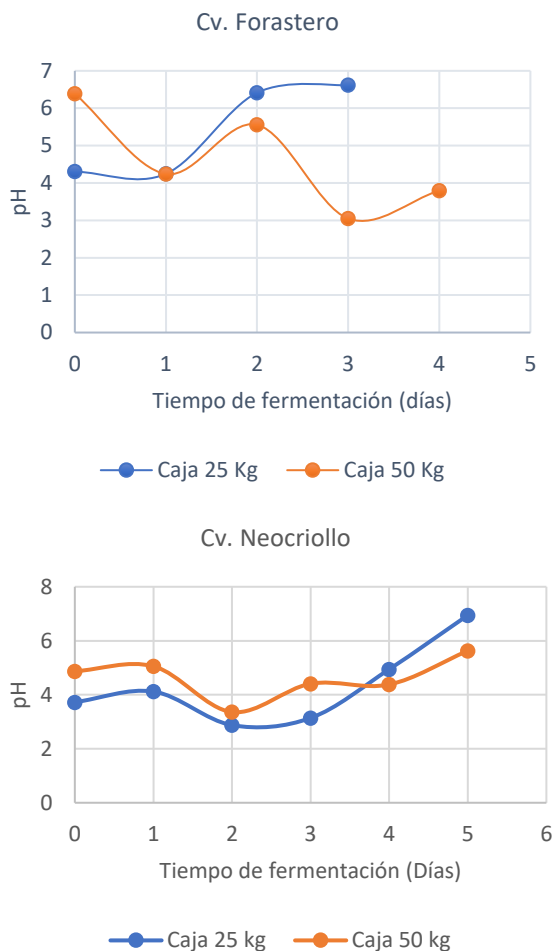


Figura 3. Comportamiento del pH durante la fermentación del grano de cacao cv. forastero y cv. neocriollo



Tabla 2. Análisis de la calidad final de los granos secos fermentados

Cultivar	Volumen de la caja de fermentación (kg)	Variables					
		Tamaño (granos/100g)	Granos pacha (%)	Humedad (%)	Cascarilla(%)	Grasa (%)	Fenoles totales (mg/g)
Criollo	25	84.33 b	3.33 a	4.64 c	14.58 a	36.64 ab	8.24 c
	50	82.33 b	7.00 a	4.63 c	14.12 a	41.38 a	6.81 d
Forastero	25	108.33 a	6.00 a	5.17 b	17.23 a	30.81 b	14.52 a
	50	110.67 a	5.00 a	5.43 a	13.55 a	41.20 a	12.63 b

El análisis de la calidad final de los granos secos fermentados se observa en la Tabla 1. Los parámetros evaluados fueron tamaño, cantidad de granos pacha, contenido de humedad, cascarilla, grasa y fenoles totales. Se observa una clara diferencia significativa en el tamaño de grano entre los cultivares forastero y criollo, los primeros son granos chicos, por debajo de 1 g, y los segundos son granos de mayor tamaño, por encima de 1 g. Con respecto al contenido de cascarilla (13-17%) no se observa diferencia significativa y en ambos cultivares está dentro del rango reportado por otros autores en diversos genotipos (Afoakwa et al, 2008, Hernández-Hernández, 2021). Los granos del cultivar forastero presentaron ligeramente mayor humedad que los granos de criollo, aunque ambos dentro de los límites permitidos que es por debajo de 8 %. El contenido de grasa en ambos cultivares se registró alrededor del 30 y 40 %, ligeramente por debajo de la media reportada en otros estudios (Afoakwa et al., 2008). El cacao es rico en polifenoles, principalmente catequinas y procianidinas que se almacenan en las células de pigmento de las hojas y el cotiledón (Osman et al., 2004). El contenido de fenoles totales varió ligeramente entre cultivares donde el forastero registró la mayor cantidad con diferencias significativas con respecto al criollo, este contenido fenólico en el rango de 6-14 mg/g estuvo por encima de la cantidad reportada en materiales de cacao de diferentes orígenes como Ecuador, Costa de Marfil y Papua Nueva Guinea (Kadow et al., 2015).

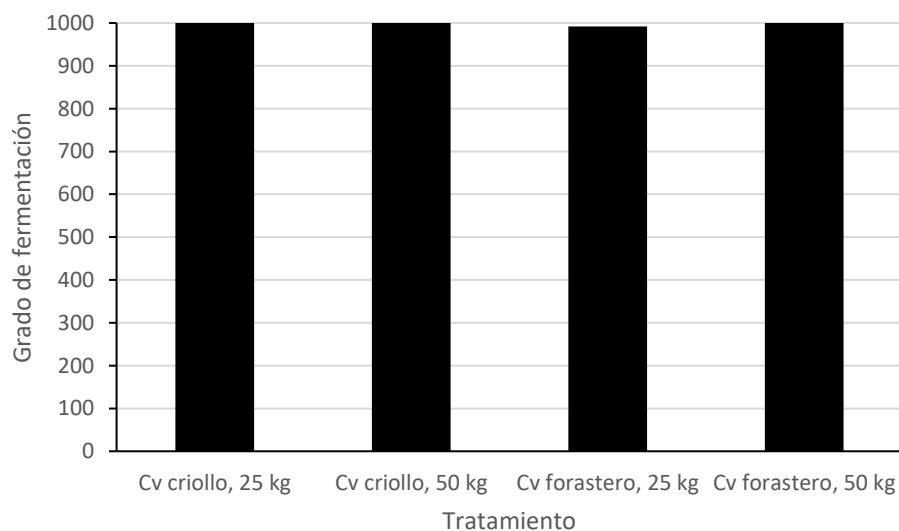


Figura 4. Grado de fermentación del grano seco en los diferentes tratamientos

El grado de fermentación se determinó de forma visual mediante una prueba de corte en la que se detectaron los granos bien fermentados, violetas y pizarrosos, cuyos resultados se muestran en la figura



8. En todos los tratamientos se observó una fermentación del cien por ciento de los granos a excepción del cultivar forastero en volumen de 25 kg en los que se observaron algunos granos parcialmente violetas, no obstante, en este se alcanzó una puntuación de 991, que es muy aceptable en la prueba de calidad de fermentación (Figura 4).

CONCLUSION

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se concluye que la fermentación en cajas cuadradas de madera con capacidad de 25 y 50 kg resultan funcionales para ambos cultivares de cacao, al observarse las condiciones necesarias de temperatura y pH, así como un grano de cacao con buena calidad de fermentación.

LITERATURA CITADA

- Actualix.com (2018). <https://es.actualitix.com/pais/mex/mexico-grano-de-cacaoproduccion>. php. Consultada en septiembre de 2018.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. 2008. Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48: 840-857.
- Arvelo M.A., González D., Delgado T. 2017. Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo de cacao en América. IICA. COLPOS, México. ISBN 978-607- 715-347-4.
- Beckett, S. T. 2003. Is the taste of British milk chocolate different? *International J. Dairy Tech.* 56:3, 139–142.
- Biehl, B., Meyer, B., Said, M., and Samarakoddy, R. J. 1990. Bean spreading: A method for pulp preconditioning to impair strong nib acidification during cocoa fermentation in Malaysia. *J. Sci. Food Agric.* 51:35–45.
- Clapperton, J. F. 1994. A review of research to identify the origins of cocoa flavour characteristics. *Cocoa Growers' Bull.* 48:7–16.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Department (FAOSTAT), 2020.
- Hernández-Hernández, C., López-Andrade, P. A., Ramírez-Guillermo, M. A., Guerra Ramírez, D., & Caballero Pérez, J. F. (2016). Evaluation of different fermentation processes for use by small cocoa growers in México. *Food Science and Nutrition*, 4(5), 690–695. doi.org/10.1002/fsn3.333
- Hernández-Hernández, C., Viera-Alcaide, I., Morales-Sillero, A., Fernández-Bolaños, J., Rodríguez-Gutiérrez, G. 2018. Bioactive compounds in Mexican genotypes of cocoa cotyledon and husk. *Food Chemistry* 240:831-839.
- Hernández-Hernández, C., Ramírez-Guillermo, M.A., Barrón-Freyre, S. 2020. Diagnóstico técnico-productivo de la cadena agroalimentaria cacao en la región de la Sierra del Estado de Tabasco, México. II Congreso Internacional en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. Retos y experiencias para lograr la soberanía alimentaria y la sustentabilidad. Pp. 179-182.
- Hernández-Hernández, C., Fernández-Cabanás, V., Rodríguez-Gutiérrez, G., Fernández-Prior, A., Morales-Sillero, A. 2021. Rapid screening of unground cocoa beans based on their content of bioactive compounds by NIR spectroscopy. *Food Control*. In press.
- International Cocoa Organization (ICCO). Pagina web: <https://icco.org/>
- Kadow, D., Niemenak, N., Rohn, S., Lieberei, R. 2015. Fermentation-like incubation of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.)- Reconstruction and guidance of the fermentation process. *LWT-Food Science and Technology* 62: 357-361.
- Lehrian, D.W. and Patterson, G. R. 1983. Cocoa fermentation. In: *Biotechnology, a Comprehensive Treatise*, vol. 5, pp. 529–575. Reed, G. Ed. Verlag Chemie, Basel.
- Lopez, A. and Quesnel, V.C. 1973. Volatile fatty acid production in cacao fermentation and the effect on chocolate flavour. *J. Sci. Food Agric.* 24:319– 326.
- Lopez, A. S. and Dimick, P. S. 1991. Enzymes involved in cocoa curing. In: *Food Enzymology*, Vol. 2, (ed. P. F. Fox), pp. 211–236. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Lopez, A. S. and Dimick, P. S. 1995. Cocoa fermentation. In: *Biotechnology: A Comprehensive Treatise*, vol. 9, Enzymes, Food and Feed pp. 563–577. Reed, G. and Nagodawithana, T.W., Eds. (2nd ed.). VCH, Weinheim.
- Osman, H., Nazaruddin, R., and Lee, S. L. 2004. Extracts of cocoa (*Theobroma cacao* L.) leaves and their antioxidation potential. *Food Chem.* 86:41– 45.



-
- Puziah, H., Jinap, S, Sharifah, K. and Asbi, A. 1998. Effect of mass and turning time on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentration during cocoa fermentation. *J. Sci. Food Agric.* 78:543–550.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. 1998. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folinciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. 2021. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Consultada el 9 de julio de 2021.
- Whitefield, R. 2005. *Making Chocolates in the Factory*. Kennedy's Publications Ltd, London, UK.



Sección I: Tecnología De alimentos



DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN MIELES PRODUCIDAS EN EL ESTADO DE TABASCO

DETERMINATION AND QUANTIFICATION OF HEAVY METALS IN HONEY PRODUCED IN THE STATE OF TABASCO

Almeida Córdova JI¹; Reyes Rosas JL²; Sol Sánchez A¹ y Zaldívar-Cruz JM^{1*}

¹Colegio de Postgraduados. Km. 3.5 s/n Periférico Carlos A. Molina, Carretera Cárdenas-Huimanguillo. C.P. 86500. Cárdenas, Tabasco.

²Federal Química S.A DE C.V. Prol. Juan Lucas Lassaga 251, Tránsito, Cuauhtémoc, 06820 Ciudad de México, CDMX, México

Autor para correspondencia: *zaldivar@colpos.mx

RESUMEN

Se determinó y cuantificó la presencia de metales pesados en las mieles obtenidas de apiarios localizados en las diferentes zonas fisiogeográficas del estado de Tabasco. Estos análisis se realizaron mediante Espectroscopia de Absorción Atómica y digestión por vía microondas, para cuantificar Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Arsénico (As) y por Espectroscopía de Absorción Atómica por Vapor Frío y por Horno de Grafito para el Mercurio (Hg). La exactitud del procedimiento de digestión empleado fue evaluada determinando el porcentaje de recuperación, lográndose entre 95 y 105% de recuperación. Los límites de detección estimados para el As, Cd, Pb y Hg fueron de 2.0 µg/L, 2.0 µg/L, 2.0 µg/L y 0.4 µg/L, respectivamente. Los contenidos de estos metales en las muestras de mieles se encontraron por debajo de estos límites y de los establecido por la NOM-127-SSA1-1994.

Palabras clave: *Absorción atómica, Horno de grafito, Vapor frio, Digestión acida.*

INTRODUCCIÓN

La miel es una sustancia dulce y viscosa, producida principalmente por las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) a partir del néctar de diferentes flores y secreciones de plantas o insectos succionadores de plantas (Pohl et al., 2008). La tendencia actual del mercado internacional de la miel se presenta cada vez con mayores exigencias en cuanto a calidad e inocuidad, por lo que es necesario promover todas las acciones posibles para producir mieles libres de residuos tóxicos (Montenegro et al., 2008). La contaminación industrial, tecnológica, agropecuaria, minera y el uso indiscriminado de diversos fertilizantes químicos en el suelo con metales pesados provocan riesgos potenciales en las mieles y podrían originar serios problemas en la salud humana y animal (Londoño et al., 2016).

Los metales pesados presentes en la atmósfera pueden depositarse en las abejas y ser transportados a la colmena en el polen, o absorbidos junto con el néctar de las flores (Singh et al., 2014). La escasa información en México sobre el contenido de metales pesados en mieles hace necesaria la investigación sobre este tema. Por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar el contenido de metales pesados (As, Cd, Hg y Pb), en las mieles producidas en el estado de Tabasco, obtenidas de muestras en apiarios de los municipios de Centla, Comalcalco, Huimanguillo, H. Cárdenas, Paraíso y Tenosique, mediante dos técnicas analíticas de absorción atómica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras

Se colectaron 60 muestras de miel de los diferentes apiarios localizados en los municipios de Centla, Comalcalco, Cárdenas, Huimanguillo, Paraíso y Tenosique del estado de Tabasco; tomando 500 mg de miel directamente de las colmenas, durante los meses de Abril-Julio del 2019 (Figura 1).

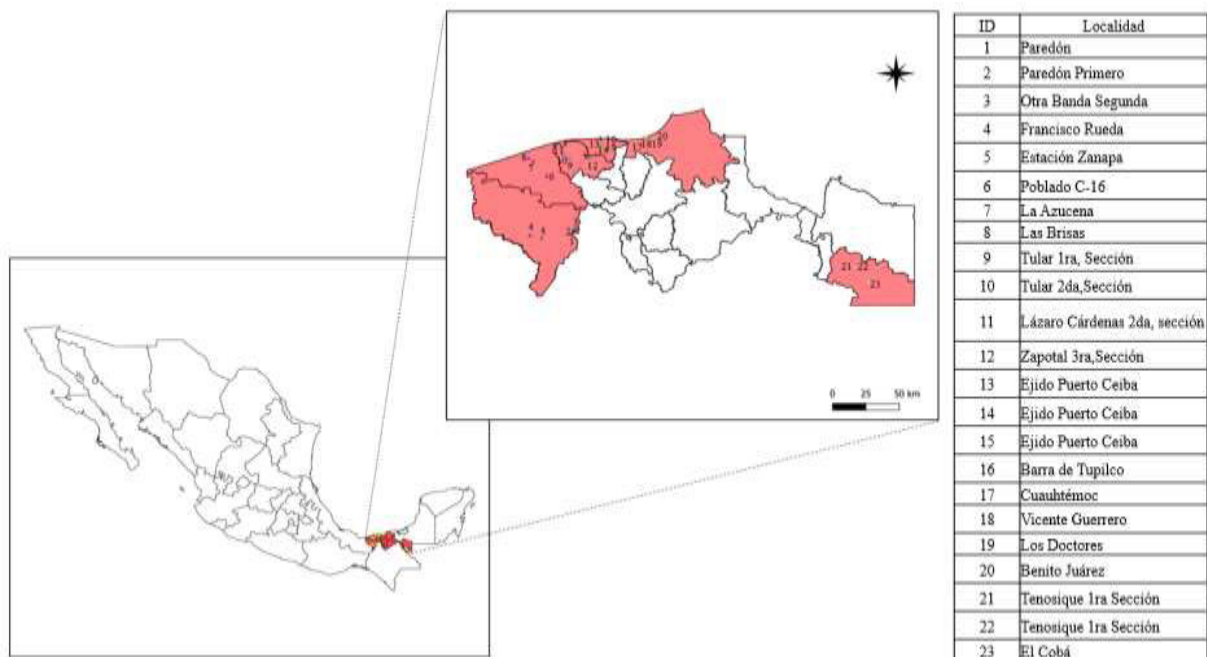


Figura 1. Sitios de colecta de las muestras de mieles.

Reactivos empleados.

Los reactivos fueron HNO₃ al 70%, HCl al 38%, SnCl₂, H₂O₂ al 30%, KMnO₄, de grado suprapuro (J.T. Baker, España). Estándares grado absorción atómica de As, Cd, Hg y Pb (Karal, México). Modificadores de matriz Pd(NO₃)₂ y Mg(NO₃)₂ (Perkin Elmer, USA), agua desionizada (AguaLab Científica, México, conductividad eléctrica de 0.056 µS/cm).

Preparación de las muestras

Se empleó 0.5 g de miel por cada muestra y el método EPA 3015A para la digestión ácida de muestras y soluciones acuosas, por horno de microondas: Los extractos resultantes se disolvieron con agua desionizada y se enrasaron a 100 mL para su análisis mediante Espectroscopía de absorción atómica por horno de grafito o Espectroscopía absorción atómica de vapor frío.

Curvas de Calibración para As, Cd y Pb.

Las concentraciones utilizadas para las curvas de calibración de As, Cd y Pb fueron: 0, 2, 4, 6, 8 y 10 µgL⁻¹ (NOM-117-SSA1-1994). Las lecturas se realizaron en un Espectofotómetro de absorción atómica (AAnalyst 200 Perkin Elmer, USA), acoplado a una cámara de horno de grafito (HGA 900 Perkin Elmer, USA).

Curva de Calibración para Hg.

Las concentraciones utilizadas del estándar de Hg fueron 0.5 µgL⁻¹, 0.75 µgL⁻¹, 1 µgL⁻¹, 2 µgL⁻¹, 5 µgL⁻¹ y 10 µgL⁻¹ (NOM-117-SSA1-1994) y se leyeron en un Espectofotómetro de absorción atómica de vapor frío (FIMS 400 Perkin Elmer, USA).



Determinación de la presencia de metales pesados en las muestras de mieles.

Los extractos resultantes de la preparación de muestras (100 mL) se analizaron mediante Espectroscopía de absorción atómica por horno de grafito o Espectroscopía absorción atómica de vapor frío.

RESULTADOS

Estudio de linealidad

Los intervalos lineales de concentraciones de las disoluciones de referencia para la calibración obtenidos, fueron: 0.002 - 0.010 µg/L para As, 0.002 - 0.010 µg/L para el Pb, 0.002 - 0.010 µg/mL para el Cd y 0.5 - 10 µg/L para el Hg (Cuadro 1). Los coeficientes de variación de los factores de respuesta, para los cuatro elementos, fueron inferiores a 5%, lo que indica una buena linealidad.

Límite de detección y cuantificación

Los límites de detección y cuantificación obtenidos (Cuadro 1) pueden considerarse aceptables (CCAYAC-CR-03/1).

Determinación de la exactitud

Los porcentajes de recuperación para los cuatro metales analizados estuvieron entre 95 y 105%, lo que indica una buena exactitud en los procedimientos de digestión empleados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros de la recta de regresión, coeficientes de variación de los factores de respuesta (CV), límites de detección (LD), límites de cuantificación (LC) y porcentaje de recuperación para Cd, Pb, Hg y As.

Cd	Pb	Hg	As
Y= 151.5x+0.024	Y= 7.1698x-0015	Y= 0.0188x-0.0013	Y= 5.22x-0.001
R ² = 0.9969	R ² = 0.9972	R ² = 0.9966	R ² = 0.9978
CV= 4.0000	CV= 3.6920	CV= 2.1234	CV= 4.0824
LD= 0.0024	LD= 0.0023	LD= 0.4292	LD= 0.0022
LC= 0.0030	LC= 0.0028	LC= 0.4892	LC= 0.0028
%REC.= 98.79	%REC.= 101.35	%REC.= 104.53	%REC.= 102.77

Cuantificación de As, Cd, Hg y Pb

La concentración de los metales determinados en las mieles, se encuentran por debajo del límite permisible de acuerdo a la NOM-117-SSA1-1994 (Figura 2).

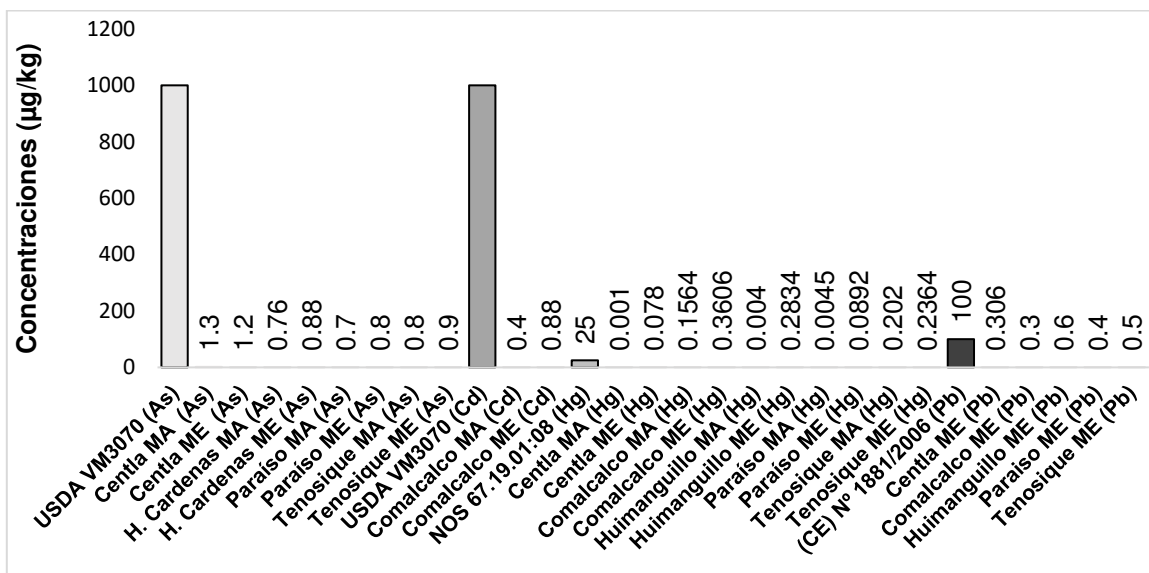


Figura 2. Contenido de metales pesados encontrados en las muestras de mieles del estado de Tabasco.

DISCUSIÓN

Las muestras de mieles del estado de Tabasco tienen menor contenido de metales pesados que los reportados para mieles de la región de Pomerania, Polonia (Przybyłowski *et al.*, 2001) y de Croacia (Bilandžić *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

Las mieles producidas en el estado de Tabasco presentan concentraciones de metales pesados por debajo de los límites permisibles de las Normas Oficiales Mexicanas, así como también del Codex Alimentarius y la Unión Europea.

REFERENCIAS

- Bilandžić N., Dokic M., Sedak M., Kolanovic B.S., Varenina I., Končurat A. and Rudan N. (2011), Determination of trace elements in Croatian floral honey originating from different regions, *Food Chemistry*, 128(4), 1160-1164.
- CCAYAC-CR-03/1, "Comisión de control analítico y ampliación de cobertura. Criterios para la validación Interna y Confirmación de métodos fisicoquímicos".
- Method 3015A (2007). Microwave assisted acid digestion of aqueous samples and extracts. *Washington, DC: Environmental Protection Agency*.
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
- Montenegro, G., & Fredes, C. (2008). Relación entre el origen floral y el perfil de elementos minerales en mieles chilenas. *Gayana. Botánica*, 65(1), 122-125.
- NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.
- Pohl, P. (2009). Determination of metal content in honey by atomic absorption and emission spectrometries. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28(1), 117–128.
- Przybyłowski, P and Wilczyńska, A. (2001). Honey as an environmental marker. *Food Chemistry*, 74, 289-291.
- Singh, C., Shubharani, R y Sivaram, V. (2014). Evaluación de metales pesados en miel por espectrómetro de absorción atómica. *SJIF*, 3(8), 509-515.



EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE RECUBRIMIENTOS A BASE DE ZEÍNA Y ALGINATO DE SODIO EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE CHILE SERRANO

EVALUATION OF THE FUNCTIONALITY OF COATINGS BASED ON ZEIN AND SODIUM ALGINATE IN THE POSTHARVEST QUALITY OF SERRANO PEPPER

¹Linares-Castañeda A., ¹Gómez y Gómez, Y.M. y ^{1*}Corzo-Rios L.J.

¹Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Autor para correspondencia: lcorzo@ipn.mx

RESUMEN

Las pérdidas postcosecha en productos frescos puede reducirse con la implementación de películas y recubrimientos comestibles. En este estudio se evaluaron recubrimientos de zeína y alginato de sodio plastificados con glicerol en la preservación de la calidad de chile serrano, el cual es un fruto susceptible a la degradación debido a su naturaleza perecedera y manejo inadecuado durante la cadena de suministro. Se evaluó la pérdida de peso, la firmeza y el color de los chiles con recubrimientos y el testigo durante quince días de almacenamiento a 9 y 20°C. Posteriormente se realizó un análisis de medias para evaluar la diferencia estadística entre los chiles serrano con y sin recubrimiento. Los principales indicadores de la calidad del chile serrano se vieron afectados por el tipo de recubrimiento y por las condiciones ambientales durante el almacenamiento.

Palabras clave: *recubrimientos, zeína, alginato de sodio, chile serrano*

INTRODUCCION

A nivel nacional se desperdician anualmente alrededor de 20.4 millones de toneladas de comida, de los cuales aproximadamente el 40-50% corresponde a productos frescos, los cuales son susceptibles a la pérdida de calidad debido a su naturaleza perecedera y al manejo inadecuado la cadena de suministro (Alvarado, 2019; Guerrero, 2018; Macheka et al., 2017; Suthar et al., 2019).

Las pérdidas y el desperdicio de frutas y verduras está relacionado con el rápido deterioro debido a su contenido de humedad mayor al 80% (Hasan et al., 2019; Managa et al., 2018). De esta manera, las pérdidas postcosecha se refieren a aquellos productos que no son consumidos o comercializados debido a que no son aptos para el consumo humano (Macheka et al., 2017).

El chile serrano es un fruto no climatérico, perecedero y con una vida útil limitada debido a una mala manipulación y almacenamiento después de ser cosechados, siendo los problemas más comunes el marchitamiento de la pulpa, susceptibilidad al desarrollo de microorganismos que afectan la pulpa y al tejido del tallo/cáliz, cambios de color, daños por frío y degradación de la calidad visual (Chitravathi et al., 2015; Glowacz & Rees, 2016; O'Donoghue et al., 2013). La pérdida de la calidad ocasionada por los daños por frío ocurre cuando los chiles se almacenan a temperaturas inferiores a 7°C, sin embargo cuando estos se almacenan por encima de 13°C puede ocurrir una maduración acelerada y pudriciones blandas por bacterias (Sánchez-Bel et al., 2012; Singh et al., 2014).

Derivado de las costumbres de consumo de la sociedad moderna, de las distancias y tiempos de traslado desde el lugar de cultivo hasta el lugar de consumo, se han buscado distintas estrategias para aumentar la vida de anaquel de productos frescos. En particular se han realizado grandes esfuerzos para preservar la calidad en chiles (O'Donoghue et al., 2013; Panigrahi et al., 2017).

Las estrategias de envasado que se han utilizado para preservar la calidad en chiles incluyen el uso de atmósferas modificadas, encerados, lavados con bicarbonato de potasio y recubrimientos o películas comestibles (Chitravathi et al., 2015; O'Donoghue et al., 2013; Xing et al., 2011). La aplicación de películas y recubrimientos comestibles ha sido abordada en la conservación de otros productos como el tomate, queso, calabaza, fresa, manzana, brócoli, entre otros alimentos (Cazón et al., 2017; Hassan et al., 2018; Montalvo et al., 2012).



Las películas y recubrimientos se producen a partir de polisacáridos, proteínas, lípidos y la combinación de estas macromoléculas; también incluyen el uso de algunos aditivos para mejorar las propiedades funcionales (Nayik et al., 2015; Parreidt et al., 2018; Suhag et al., 2020; Vieira et al., 2011).

En general la presencia de proteínas y polisacáridos dentro de una formulación interactúan de manera diferente en función de sus estructuras químicas, peso molecular y composición, además, ocurren interacciones con el resto de los componentes del sistema (solventes, aditivos, etc.), lo que determina la estructura y las propiedades funcionales del polímero (Corzo-Rios et al., 2018; Guerrero et al., 2013). Debido a la estructura del alginato, es un material filmogénico que puede formar películas flexibles, resistentes, sin sabor, olor y color (Blanco-Pascual et al., 2014; Lacroix & Le Tien, 2005; Nieto, 2009; Vieira et al., 2011; Yang & Paulson, 2000). Por otra parte, las zeínas han sido objeto de estudio por sus excelentes propiedades barrera, sin embargo la fragilidad y la rigidez son sus principales desventajas (Ozcalik & Tihminlioglu, 2013; Tsai & Weng, 2019).

La formación películas compuestas entre proteínas y polisacáridos crea películas finales con propiedades que se mejoran considerablemente debido a que cada uno de los componentes proporciona ventajas y compensa las desventajas del otro y, además, dos componentes pueden tener efectos sinérgicos, que dotan al compuesto final de características funcionales superiores (Avena-Bustillos et al., 2011; Zaleska et al., 2000).

De esta manera, el uso de recubrimientos compuestos por macromoléculas puede implementarse como envase en la preservación de la calidad de productos frescos. En este estudio se evaluó la funcionalidad de dos recubrimientos elaborados con zeína y alginato de sodio en la preservación de la calidad de chile serrano almacenado a 9 y 20°C durante quince días.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de los recubrimientos

El alginato de sodio se dispersó en agua destilada a pH 10 y se dejó reposar durante una noche para su completa hidratación. Posteriormente se añadió lentamente la zeína (previamente solubilizada en etanol acuoso al 75%). La dispersión se mezcló y se utilizó un agitador de turbina a 2500 rpm. Se adicionó glicerol como plastificante, aceite de canola y Tween 80 de acuerdo con las concentraciones presentadas en el cuadro 1. La dispersión se dejó en agitación durante 30 minutos.

Cuadro I: Concentración de los materiales para elaborar los recubrimientos

	Zeína (%)	Alginato de sodio (%)	Glicerol (%)	Aceite de canola (%)	Tween 80 (%)
R1	2	1.5	4	0.2	0.2
R2	1	2	4	0.2	0.2

Aplicación del recubrimiento en chile serrano

Los chiles con madurez comercial fueron adquiridos de la central de abastos de la Ciudad de México, y se desinfectaron en una solución de 200 ppm de hipoclorito de sodio (NaClO) durante 2 minutos. Posteriormente las piezas de chile se seleccionaron y se sumergieron en las soluciones formadoras de película durante 2 minutos. Se dejó gotear el exceso de la solución durante 1 minuto y se creó un flujo de aire de secado a temperatura ambiente.

Evaluación de la funcionalidad de las películas en chile serrano

Se evaluó la influencia del uso de los recubrimientos de zeína-alginato de sodio en la vida de anaquel y características fisicoquímicas de chile serrano a 10 y 20°C durante 15 días cada 24 horas. Se evaluaron las mismas características fisicoquímicas en chiles sin el recubrimiento como control en las mismas condiciones. Las determinaciones se realizaron al menos por triplicado.

Pérdida de peso

La pérdida de peso se realizó de acuerdo con la metodología reportada por Nair et al. (2018) con ligeras modificaciones. Se colocaron cinco chiles testigo y con recubrimiento sobre charolas de plástico y se registró el peso inicial. Las charolas se pesaron cada 24 h en una balanza digital (A&D EJ-2000).

Firmeza



La firmeza se midió de acuerdo con la metodología reportada por Hernández-López et al. (2020) con ligeras modificaciones. Se utilizó un penetrómetro digital (modelo GY-4) con punta cilíndrica de 3.5 mm. Los resultados se informaron en Newton (N).

Color

El color se determinó de acuerdo con la metodología de Valiathan & Athmaselvi (2018) en coordenadas CIELab mediante un colorímetro digital (CHN Spec CS-10). Se mostró como a^* (- verde, +rojo), b^* (-azul, +amarillo) y L^* (0=negro, 100=blanco).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de medias para evaluar la diferencia estadística entre los chiles serrano con y sin recubrimiento mediante el método de Duncan, con un nivel de significancia de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de los recubrimientos en chile serrano

Pérdida de peso

El peso, la firmeza y el color son factores de calidad sumamente importantes en frutas y verduras ya que de estas propiedades depende la aceptación del producto por parte del consumidor. La pérdida de peso está relacionado con la pérdida de agua, lo cual genera pérdida de turgencia y frescura del fruto (Nur Kabir et al., 2019; Santos et al., 2018).

Los resultados para la pérdida de peso en chiles serrano se muestran en la figura 1. De acuerdo con los resultados del análisis estadístico, existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos (R1 y R2) y el testigo durante el periodo de almacenamiento a 9 y 20°C. La pérdida de peso en los chiles serrano fue mayor a temperatura de 20°C (figura 1A) que a temperatura de 9°C (figura 1B). La pérdida de peso aumenta con el incremento de la temperatura como un resultado de las tasas de transpiración y de procesos metabólicos en el fruto. En el caso contrario, las bajas temperaturas retrasan estos procesos fisiológicos (Nyanjage et al., 2005; Rao et al., 2011).

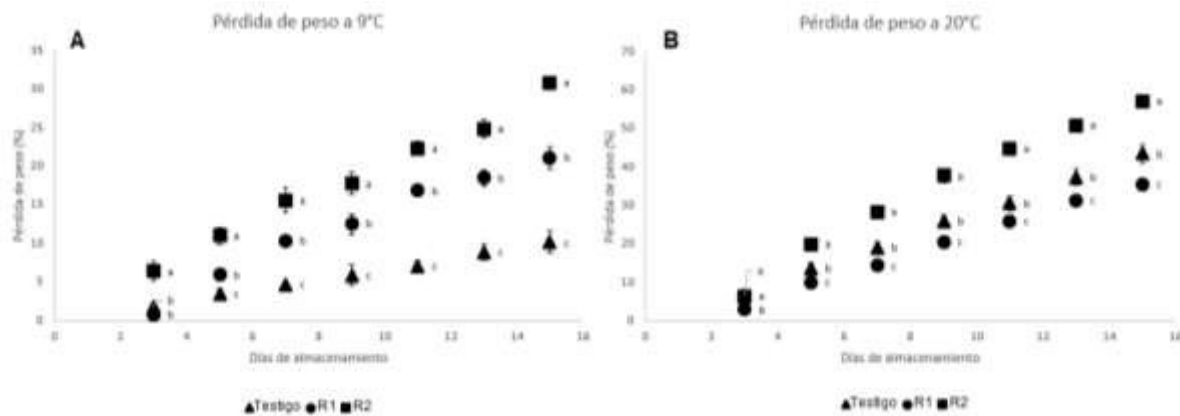


Figura 1. Pérdida de peso de chiles serranos almacenados a 9°C (A) y 20°C (B)

Los valores obtenidos para la pérdida de peso en este estudio a 9°C al día 15 de almacenamiento, son mayores a los reportados por Nair et al. (2018); estos autores reportaron una pérdida de peso de entre 3-9% al día 15 de almacenamiento de chiles con recubrimiento de quitosano y alginato de sodio almacenados a 10°C. Cabe señalar que la mayor pérdida de peso a 9°C se presentó en los chiles cubiertos con los tratamientos R1 y R2 comparado con los chiles testigo. Las bajas temperaturas deben retardar la pérdida de peso en chiles durante el periodo de almacenamiento, sin embargo, los resultados indican que emplear la película en chiles almacenados a 9°C incrementó la pérdida de peso.

Por otra parte, los chiles almacenados a 20°C con el tratamiento R1 presentaron menor pérdida de peso comparados con los chiles testigo. Respecto a los chiles con el tratamiento R2, éstos presentaron la mayor pérdida de peso. Se han reportado valores menores de pérdida de peso entre 12.35-5.60% en chiles verdes con recubrimiento a base de goma laca combinada con almidón, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y alginato de sodio almacenados durante 12 días a 26°C (Chitravathi et al., 2014).

Hedayati & Niakousari (2015) estudiaron el efecto de la temperatura en las tasas de transpiración y respiración en pimientos verdes con recubrimientos de nanopartículas de plata y goma arábiga, reportando un comportamiento similar a los obtenidos en este estudio, donde la pérdida de peso fue menor a 7°C (entre 5-10%) comparada con los chiles almacenados a 20°C (9-18%) al día veintiuno de almacenamiento.

La tendencia de la pérdida de peso en este estudio se vio afectada por el tipo de recubrimiento, por la temperatura de almacenamiento y consecuentemente por la humedad relativa del ambiente. Los recubrimientos pueden controlar la transferencia de masa entre el alimento y su medio circundante (Hernandez-Izquierdo & Krochta, 2008).

Firmeza

La firmeza del fruto es un indicador del grado de madurez y se define como la fuerza necesaria para romper los tejidos de la pulpa asociado con las diferentes etapas de maduración, por lo que su degradación genera un ablandamiento del producto fresco y puede interferir en su aceptación y consumo (Hernández-López et al., 2020; Nair et al., 2018; Sultan et al., 2021). Los valores obtenidos de firmeza a 9 y 20 °C se muestran en la figura 2, respectivamente.

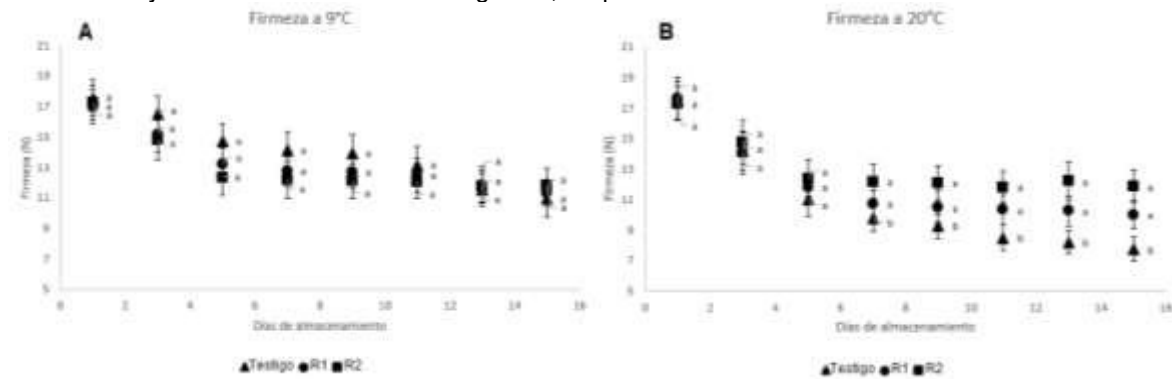


Figura 2. Firmeza de chiles serranos almacenados a 9°C (A) y 20°C (B).

No existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos R1, R2 y los chiles testigo durante el periodo de almacenamiento a 9°C (figura 2A). La tendencia en firmeza en los chiles serrano obtenidos en este estudio es similar a la reportada por Nair et al. (2018), quienes obtuvieron valores iniciales de aproximadamente 18 N al inicio de sus experimentos con una disminución hasta 12 N al día quince en chiles con recubrimiento a base de quitosano y alginato de sodio almacenados a 10°C.

Respecto a los chiles almacenados a 20°C (figura 2B), se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los chiles con tratamiento R1 y R2, comparados con los chiles testigo, a partir del día siete de almacenamiento. Srinivasa et al. (2006) reportaron valores similares a los obtenidos en este estudio en pimientos morrón, donde la firmeza inicial presentó valores de aproximadamente 18 N, los cuales se redujeron hasta 6 N en chiles control y 10 N en chiles empacutados en charolas selladas con películas de quitosano a los dieciséis días de almacenamiento.

La firmeza está relacionada con las condiciones térmicas y el tiempo de almacenamiento, además se puede deteriorar por la pérdida de agua debido a la transpiración produciendo ablandamiento como consecuencia de una reducción de la turgencia celular y una degradación de los polímeros de la pared celular (Miranda-Molina et al., 2019; Nur Kabir et al., 2019; Rao et al., 2011). El ablandamiento es generado por la solubilización de la pectina de la pared celular debido a la actividad de enzimas como la poligalacturonasa (PG), la pectinmetilesterasa (PME), la celulasa y la β -galactosidasa (Rao et al., 2011). Sin embargo, la actividad de estas enzimas está limitada por niveles bajos de O_2 y niveles altos de CO_2 , por lo que los recubrimientos pueden actuar como conservante de la firmeza, ya que pueden influir en la actividad de las enzimas presentes en la pared celular de los frutos. Además, el almacenamiento en refrigeración retrasa estos procesos por lo que puede existir menor pérdida de la firmeza a bajas temperaturas (Correa-Pacheco et al., 2021; Hedayati & Niakousari, 2015).



Color

En particular, los chiles serranos se consumen en estado fresco y con coloración verde, por lo que la vida útil después de la cosecha se ha definido como el tiempo para cambiar de una tonalidad verde a roja/naranja o como el tiempo requerido para perder su consistencia turgente debido a la transpiración (Miranda-Molina et al., 2019).

En este estudio se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la coloración de los chiles durante el periodo de almacenamiento a 9 y 20°C. De acuerdo con los resultados mostrados en el cuadro 2, existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los valores de luminosidad (L^*) de los chiles testigo y los chiles con tratamientos durante el periodo de almacenamiento a 9°C. Nair et al. (2018) reportaron cambios significativos en los valores de L^* en chiles con recubrimiento de alginato de sodio y quitosano con extracto de cáscara de granada comparadas con los chiles control almacenados a 10°C. Los valores de L^* a 9°C obtenidos en este estudio son menores a los reportados por Hedayati & Niakousari (2015) en pimiento con recubrimientos de goma arábica y nanopartículas de plata almacenados a 7°C (valores de L^* entre 29.33 y 34.67).

Respecto a los valores de a^* en los chiles almacenados a 9°C, todos preservaron coloración verde y no se presentaron cambios significativos ($p < 0.05$) entre el testigo y los tratamientos durante el periodo de almacenamiento. Los valores de a^* obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Hedayati & Niakousari (2015) en pimiento con recubrimientos de goma arábica y nanopartículas de plata almacenados a 7°C (valores de a^* reportados entre -19.00 y -25.67).

Por otra parte, los valores obtenidos de b^* a 9°C presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos R1 y R2 comparados con el testigo hasta el día nueve de almacenamiento. Los valores de b^* fueron significativamente iguales para los tratamientos R1 y R2 y el testigo al día once, que puede estar relacionado con la composición del recubrimiento (coloración amarilla de la zeína).

Los valores obtenidos de L^* a 20°C presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos y el testigo hasta el día once de almacenamiento. Posteriormente a este periodo de almacenamiento, los tratamientos y el testigo fueron estadísticamente diferentes.

Los valores de L^* para los chiles testigo a 9 y 20°C presentaron valores menores comparados con los chiles con tratamientos (R1 y R2). Se ha reportado un comportamiento similar en albaricoques con recubrimiento de zeína almacenados a 5 y 20°C, donde los valores de L^* fueron menores en las muestras testigo (Baysal et al., 2010).

Por otra parte, los valores de a^* a 20°C presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) a partir del día 1 y hasta el día 3 de almacenamiento. Los chiles con el tratamiento R2 presentaron cambios de color verde a rojo (valor de a^* de -13.89 a 18.25) a partir del día 5, seguido de los chiles testigo los cuales presentaron cambios de color a partir del día 9 (valor de a^* de -12.24 a 3.17) y finalmente, los chiles con tratamiento R1 presentaron cambios de color hasta el día 13 (valor de a^* de -7.32 a 16.76). Se ha reportado una tendencia similar en chiles verdes con recubrimientos a base de goma laca con alginato de sodio almacenados a 26°C, donde los valores de a^* cambiaron de valores negativos a positivos (para el control de -10.98 a 31.35 y para el recubrimiento de -10.57 a 2.02) al inicio y final del periodo del almacenamiento (Chitravathi et al., 2014).

El proceso de degradación de la clorofila ocurre debido a la maduración y es consecuencia de la conversión de cloroplastos en cromoplastos, de esta manera los cambios de color de verde a rojo se debe a la síntesis de carotenoides como resultado de esta conversión (Chitravathi et al., 2014; Cisternas-Jamet et al., 2020; Conforti et al., 2007; Hornero-Méndez & Mínguez-Mosquera, 2002; Panigrahi et al., 2017). La degradación de la clorofila se produce por la presencia de oxígeno o enzimas como la clorofilasa y la peroxidasa (Hedayati & Niakousari, 2015; Shi et al., 2016). Sin embargo, la refrigeración reduce la actividad enzimática y los recubrimientos protegen al fruto de la exposición excesiva al oxígeno limitando los cambios de color.

Los valores de b^* a 20°C obtenidos en este estudio son mayores a los reportados por Srinivasa et al. (2006), quienes reportaron valores de b^* de 14.46 a 11.36 en pimiento morrón con película de quitosano a 27°C. Para los tratamientos R1 y R2 se observa que los valores de b^* disminuyeron con el periodo de almacenamiento. Hernández-López et al. (2020) reportaron una tendencia similar de disminución en los valores de b^* (valores de b^* de 20 a 10) en pimientos con recubrimiento de quitosano. Particularmente la zeína puede interferir en los valores b^* , ya que ésta proporciona una coloración amarilla (Zhang et al., 2019).



Cuadro II: Coordenadas CIELab para chiles testigo y con recubrimientos

9°C									
Día	Testigo			R1			R2		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b
1	24.70±0.85 ^a	-18.39±1.21 ^a	25.32±0.94 ^a	29.89±2.14 ^a	-19.41±1.72 ^a	29.81±1.72 ^a	29.84±2.16 ^a	-18.36±0.43 ^a	30.76±0.75 ^a
3	24.74±0.87 ^a	-17.05±1.13 ^a	23.58±1.50 ^a	28.81±1.52 ^a	-19.40±0.90 ^a	30.15±2.24 ^a	29.88±1.34 ^a	-18.87±0.85 ^a	29.81±1.69 ^a
5	24.59±1.84 ^a	-16.42±0.86 ^a	22.99±0.91 ^a	28.34±1.45 ^a	-17.35±0.49 ^a	28.16±1.51 ^a	29.81±1.28 ^a	-17.27±0.62 ^a	29.59±1.17 ^a
7	24.75±1.83 ^a	-16.45±1.07 ^a	21.82±1.23 ^a	28.37±1.56 ^a	-15.26±1.70 ^a	28.83±0.62 ^a	29.54±0.44 ^a	-16.19±0.53 ^a	27.35±3.16 ^a
9	24.59±2.26 ^a	-17.17±0.91 ^a	25.44±1.63 ^a	29.20±0.69 ^a	-17.21±1.27 ^a	28.63±0.94 ^a	29.70±0.71 ^a	-16.18±0.85 ^a	26.14±0.43 ^a
11	24.40±1.41 ^a	-17.21±1.76 ^a	24.74±2.68 ^a	28.76±2.37 ^a	-16.19±1.79 ^a	25.80±0.54 ^a	29.08±0.64 ^a	-20.38±3.33 ^a	24.18±1.32 ^a
13	24.86±0.88 ^a	-16.77±1.74 ^a	26.24±3.66 ^a	29.46±0.80 ^a	-15.96±1.42 ^a	24.91±0.71 ^a	29.65±1.36 ^a	-15.01±0.84 ^a	23.01±1.45 ^a
15	24.56±1.63 ^a	-17.25±1.08 ^a	24.67±0.56 ^a	28.91±2.45 ^a	-16.94±1.14 ^a	24.65±0.15 ^a	29.27±0.73 ^a	-17.52±0.53 ^a	24.20±0.24 ^a
20°C									
Día	L	a	b	L	a	b	L	a	b
1	24.04±0.59 ^a	-17.91±0.82 ^a	26.59±1.28 ^a	30.24±0.96 ^a	-18.41±0.48 ^a	30.80±1.42 ^a	30.01±0.74 ^a	-17.54±0.50 ^a	29.50±0.86 ^a
3	24.19±0.44 ^a	-18.52±0.81 ^a	27.78±0.50 ^a	29.38±0.38 ^a	-18.71±0.97 ^a	33.28±3.15 ^a	30.73±2.16 ^a	-18.50±1.16 ^a	31.91±2.13 ^a
5	24.28±0.47 ^a	-18.69±0.73 ^a	29.94±0.51 ^a	30.80±1.57 ^a	-17.07±0.77 ^a	29.50±2.93 ^a	28.91±1.57 ^a	-13.89±2.52 ^a	24.39±2.96 ^a
7	24.31±0.50 ^a	-17.21±1.76 ^a	29.63±1.34 ^a	30.21±0.92 ^a	-20.07±0.56 ^a	29.92±3.35 ^a	28.41±1.11 ^a	18.25±2.40 ^a	23.03±3.12 ^a
9	24.29±0.82 ^a	3.17±0.16 ^a	31.37±3.66 ^a	33.10±0.74 ^a	-14.21±3.50 ^a	19.61±3.97 ^a	31.16±2.15 ^a	36.91±1.49 ^a	22.78±1.93 ^a
11	24.01±0.49 ^a	38.04±1.36 ^a	35.06±1.76 ^a	33.78±2.13 ^a	-9.86±1.63 ^a	14.15±1.41 ^a	31.50±2.30 ^a	33.57±1.92 ^a	20.39±1.42 ^a
13	25.24±2.35 ^a	42.88±0.91 ^a	29.02±0.78 ^a	35.86±0.28 ^a	-7.32±1.47 ^a	17.05±1.86 ^a	31.36±0.29 ^a	30.40±3.47 ^a	21.70±1.25 ^a
15	23.96±1.07 ^a	47.88±2.58 ^a	28.74±0.48 ^a	37.62±0.42 ^a	16.76±1.12 ^a	15.72±0.46 ^a	33.58±2.26 ^a	30.19±2.34 ^a	20.63±3.00 ^a

Los datos son medias de tres repeticiones ± desviación estándar. Diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa (Duncan, p<0.05).

Finalmente, varios factores influyen en la conservación de color durante el periodo de almacenamiento. Por ejemplo, el uso de recubrimientos demoran los cambios de color (Chitravathi et al., 2014), la refrigeración ayuda a mantener los atributos de color durante el periodo postcosecha, por lo que las altas temperaturas favorecen la maduración, modificando las tonalidades y la luminosidad del chile (Miranda-Molina et al., 2019), incluso la variedad del género *Capsicum* en la etapa de madurez va depender de su capacidad para sintetizar carotenoides e incluso retener los pigmentos de la clorofila (Pugliese et al., 2013).

CONCLUSIONES

El uso de los recubrimientos a 9°C no mejoró el comportamiento de la pérdida de peso, los valores de firmeza y color de los chiles durante los quince días de almacenamiento. La película elaborada con 2% de zeína, 1.5% de alginato de sodio y 4% de glicerol (recubrimiento R1) a 20°C disminuyó la pérdida de peso, aumentó los valores de firmeza del fruto y retrasó los cambios de coloración comparado con los chiles sin recubrimiento durante los quince días de almacenamiento. Evaluar la permeabilidad a los gases que participan en la maduración de frutos podría confirmar la efectividad de estos recubrimientos.

LITERATURA CITADA

Alvarado, J. (2019). Seguridad alimentaria. Comunidad DCSBA. Retrieved from https://www.unadmexico.mx/images/articulos/boletinDCSBA/boletinesEspeciales/2019/BoletinEspecial_SA_2019.pdf

Avena-Bustillos, R. J., Chiou, B., Olsen, C. W., Bechtel, P. J., Olson, D. A., & Mchugh, T. H. (2011). Gelation, Oxygen Permeability, and Mechanical Properties of Mammalian and Fish Gelatin Films. *Journal of Food Science*, 76(7), E519–E524. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02312.x>

Baysal, T., Bilek, S. E., & Apaydin, E. (2010). The Effect of Corn Zein Edible Film Coating on Intermediate Moisture Apricot (*Prunus Armenica L.*) Quality. *Gida*, 35(4), 245–250.

Blanco-Pascual, N., Montero, M. P., & Gómez-Guillén, M. C. (2014). Antioxidant film development from unrefined extracts of brown seaweeds *Laminaria digitata* and *Ascophyllum nodosum*. *Food Hydrocolloids*, 37, 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.021>

Cazón, P., Velázquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>



- Chitravathi, K., Chauhan, O. P., & Raju, P. S. (2014). Postharvest shelf-life extension of green chillies (*Capsicum annuum* L.) using shellac-based edible surface coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 146–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.021>
- Chitravathi, K., Chauhan, O. P., & Raju, P. S. (2015). Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annuum* L.). *Food Packaging and Shelf Life*, 4, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.02.001>
- Cisternas-Jamet, J., Salvatierra-Martínez, R., Vega-Gálvez, A., Stoll, A., Uribe, E., & Goñi, M. G. (2020). Biochemical composition as a function of fruit maturity stage of bell pepper (*Capsicum annuum*) inoculated with *Bacillus amyloliquefaciens*. *Scientia Horticulturae*, 263, 109107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109107>
- Conforti, F., Statti, G. A., & Menichini, F. (2007). Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. *Food Chemistry*, 102(4), 1096–1104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.047>
- Correa-Pacheco, Z. N., Corona-Rangel, M. L., Bautista-Baños, S., & Ventura-Aguilar, R. I. (2021). Application of natural-based nanocoatings for extending the shelf life of green bell pepper fruit. *Journal of Food Science*, 86(1), 95–102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.15542>
- Corzo-Rios, L. J., Drago, S. R., Gallegos-Tintoré, S., Betancur-Ancona, D., & Chel-Guerrero, L. (2018). Study of the interaction of phaseolus lunatus hydrolysed proteins and delonix regia carboxymethylated gum using capillary electrophoresis. *Chiang Mai Journal of Science*, 45(1), 308–317.
- Glowacz, M., & Rees, D. (2016). Exposure to ozone reduces postharvest quality loss in red and green chilli peppers. *Food Chemistry*, 210, 305–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.119>
- Guerrero, L. (2018). La lucha por abatir el desperdicio de alimentos en México. Retrieved from <http://www.cienciamx.com/index.php/reportajes-especiales/22910-desperdicio-alimentos-iniciativas-mexico>
- Guerrero, P., Garrido, T., Leceta, I., & de la Caba, K. (2013). Films based on proteins and polysaccharides: Preparation and physical–chemical characterization. *European Polymer Journal*, 49(11), 3713–3721. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.08.014>
- Hasan, M. U., Malik, A. U., Ali, S., Imtiaz, A., Munir, A., Amjad, W., & Anwar, R. (2019). Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.14280>
- Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 109, pp. 1095–1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
- Hedayati, S., & Niakousari, M. (2015). Effect of Coatings of Silver Nanoparticles and Gum Arabic on Physicochemical and Microbial Properties of Green Bell Pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2001–2007. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12440>
- Hernandez-Izquierdo, V. M., & Krochta, J. M. (2008). Thermoplastic processing of proteins for film formation - A review. *Journal of Food Science*, 73(2), 30–39. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00636.x>
- Hernández-López, G., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., & Barrera-Necha, L. L. (2020). Nanostructured chitosan edible coating loaded with α -pinene for the preservation of the postharvest quality of *Capsicum annuum* L. and *Alternaria alternata* control. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 1881–1888. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.094>
- Hornero-Méndez, D., & Mínguez-Mosquera, M. I. (2002). Chlorophyll disappearance and chlorophyllase activity during ripening of *Capsicum annuum* L fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(13), 1564–1570. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.1231>
- Lacroix, M., & Le Tien, C. (2005). Edible films and coatings from non-starch polysaccharides. In *Innovations in Food Packaging* (pp. 338–361). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-311632-1.50052-8>



- Macheka, L., Spelt, E., van der Vorst, J. G. A. J., & Luning, P. A. (2017). Exploration of logistics and quality control activities in view of context characteristics and postharvest losses in fresh produce chains: A case study for tomatoes. *Food Control*, 77, 221–234. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2017.02.037>
- Managa, M. G., Tinyani, P. P., Senyolo, G. M., Soundy, P., Sultanbawa, Y., & Sivakumar, D. (2018). Impact of transportation, storage, and retail shelf conditions on lettuce quality and phytonutrients losses in the supply chain. *Food Science & Nutrition*, 6(6), 1527–1536. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.685>
- Miranda-Molina, F. D., Valle-Guadarrama, S., Guerra-Ramírez, D., Arévalo-Galarza, M. D. L., Pérez-Grajales, M., & Artés-Hernández, F. (2019). Quality attributes and antioxidant properties of Serrano chili peppers (*Capsicum annum* L.) affected by thermal conditions postharvest. *International Food Research Journal*, 26(2), 1889–1898.
- Montalvo, C., López-Malo, A., & Palou, E. (2012). Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2, 32–46.
- Nair, M. S., Saxena, A., & Kaur, C. (2018). Characterization and Antifungal Activity of Pomegranate Peel Extract and its Use in Polysaccharide-Based Edible Coatings to Extend the Shelf-Life of *Capsicum* (*Capsicum annum* L.). *Food and Bioprocess Technology*, 11(7), 1317–1327. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2101-x>
- Nayik, G. A., Majid, I., & Kumar, V. (2015). Characterization of Indian Honeys View project Sprouted onion View project Developments in Edible films and Coatings for the extension of Shelf Life of Fresh Fruits. *American Journal of Nutrition and Food Science*, 2(1), 16–20. <https://doi.org/10.12966/ajnfs.CITATIONS>
- Nieto, M. B. (2009). Structure and function of polysaccharide gum-based edible films and coatings. *Edible Films and Coatings for Food Applications*, 57–112.
- Nur Kabir, M. S., Chowdhury, M., Lee, W. H., Hwang, Y. S., Cho, S. I., & Chung, S. O. (2019). Influence of delayed cooling on quality of bell pepper (*Capsicum annum* L.) stored in a controlled chamber. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(4), 271–280. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i4.1936>
- Nyanjage, M. O., Nyalala, S. P. O., Illa, A. O., Mugo, B. W., Limbe, A. E., & Vulimu, E. M. (2005). Extending post-harvest life of sweet pepper (*Capsicum annum* L. 'California Wonder') with modified atmosphere packaging and storage temperature. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 38(2), 28–32. Retrieved from <http://www.itsz.czu.cz>
- O'Donoghue, E. M., Somerfield, S., McLachlan, A., Olsson, S., & Woolf, A. (2013). High-pressure water washing and continuous high humidity during storage and shelf conditions prolongs quality of red capsicums (*Capsicum annum* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 81, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.012>
- Ozcalik, O., & Tihminlioglu, F. (2013). Barrier properties of corn zein nanocomposite coated polypropylene films for food packaging applications. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.005>
- Panigrahi, J., Gheewala, B., Patel, M., Patel, N., & Gantait, S. (2017). Gibberellic acid coating: A novel approach to expand the shelf-life in green chilli (*Capsicum annum* L.). *Scientia Horticulturae*, 225(April), 581–588. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.059>
- Parreidt, T. S., Müller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. *Foods*, 7(10). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3390/foods7100170>
- Pugliese, A., Loizzo, M. R., Tundis, R., O'Callaghan, Y., Galvin, K., Menichini, F., & O'Brien, N. (2013). The effect of domestic processing on the content and bioaccessibility of carotenoids from chili peppers (*Capsicum* species). *Food Chemistry*, 141(3), 2606–2613. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.046>
- Rao, T. V. R., Gol, N. B., & Shah, K. K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Scientia Horticulturae*, 132(1), 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.032>
- Sánchez-Bel, P., Egea, I., Sánchez-Ballesta, M. T., Martínez-Madrid, C., Fernández-García, N., Romojaro, F., ... Flores, F. B. (2012). Understanding the mechanisms of chilling injury in bell pepper fruits using the proteomic approach. *Journal of Proteomics*, 75(17), 5463–5478. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.06.029>



- Santos, T. M., Souza Filho, M. de S. M., Silva, E. de O., Silveira, M. R. S. da, Miranda, M. R. A. de, Lopes, M. M. A., & Azeredo, H. M. C. (2018). Enhancing storage stability of guava with tannic acid-crosslinked zein coatings. *Food Chemistry*, 257, 252–258. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.021>
- Shi, J., Gao, L., Zuo, J., Wang, Q., Wang, Q., & Fan, L. (2016). Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life, enhances antioxidant enzyme activity, and inhibits chlorophyll-degradation. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 98–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.007>
- Singh, R., Giri, S. K., & Kotwaliwale, N. (2014). Shelf-life enhancement of green bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under active modified atmosphere storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(2), 101–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.03.001>
- Srinivasa, P. C., Harish Prashanth, K. V., Susheelamma, N. S., Ravi, R., & Tharanathan, R. N. (2006). Storage studies of tomato and bell pepper using eco-friendly films. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1216–1224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.2472>
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136(March), 109582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>
- Sultan, M., Hafez, O. M., Saleh, M. A., & Youssef, A. M. (2021). Smart edible coating films based on chitosan and beeswax–pollen grains for the postharvest preservation of Le Conte pear. *RSC Advances*, 11(16), 9572–9585. <https://doi.org/10.1039/D0RA10671B>
- Suthar, R. G., Barrera, J. I., Judge, J., Brecht, J. K., Pelletier, W., & Muneeppeerakul, R. (2019). Modeling postharvest loss and water and energy use in Florida tomato operations. *Postharvest Biology and Technology*, 153, 61–68. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2019.03.004>
- Tsai, M. J., & Weng, Y. M. (2019). Novel edible composite films fabricated with whey protein isolate and zein: Preparation and physicochemical property evaluation. *Lwt*, 101(October 2018), 567–574. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.068>
- Valiathan, S., & Athmaselvi, K. A. (2018). Gum Arabic based composite edible coating on green chillies. *International Agrophysics*, 32(2), 193–202. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0003>
- Vieira, M. G. A., Da Silva, M. A., Dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, 47(3), 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>
- Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y., & Tang, Y. (2011). Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 124(4), 1443–1450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.105>
- Yang, L., & Paulson, A. T. (2000). Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. *Food Research International*, 33(7), 571–578. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00093-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00093-4)
- Zaleska, H., Ring, S. G., & Tomasik, P. (2000). Apple pectin complexes with whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 14(4), 377–382. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00014-X)
- Zhang, L., Liu, Z., Wang, X., Dong, S., Sun, Y., & Zhao, Z. (2019). The properties of chitosan/zein blend film and effect of film on quality of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*, 155, 47–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.05.013>



SÍNTESIS DE ADSORBENTES DE BAJO COSTO A PARTIR DE RESIDUOS BIOMASA POSCOSECHA DE VAINA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO L.*)

SYNTHESIS OF LOW-COST ADSORBENTS FROM RESIDUES POST-HARVEST BIOMASS OF COCOA SHEATH (*THEOBROMA CACAO L.*)

¹López Margalli KS, ¹Guerra Que Z, Urrieta Saltijeral JM, ¹Hernández Vélez RM, ¹Reyes Osorio J
²Silahua Pavón AA, ²Torres Torres JG

¹ Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, Laboratorio de Investigación 1 Área de Nanotecnología, Km. 3.5 Carretera Villahermosa–Frontera, Cd. Industrial, C.P. 86010 Villahermosa, Tabasco, México.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada (CICTAT), DACB, Laboratorio de Nanomateriales Catalíticos Aplicados al Desarrollo de Fuentes de Energía y Remediación Ambiental, Km.1 carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: zenaída.gq@villahermosa.tecnm.mx

RESUMEN

Este trabajo reporta un nuevo método de síntesis de materiales adsorbentes a partir de vaina de cacao, usando la biomasa residual. Se ocupó tratamiento con ácido sulfúrico al 0.5 y 10 M además se probó tratamiento alcalino al 0.1 y 5M. Los adsorbentes fueron caracterizados mediante técnicas de Fisisorción de Nitrógeno y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) usadas sobre muestras de estos materiales antes y después del tratamiento por lo que, podremos estudiar los cambios en la superficie de su estructura. De acuerdo al Área Superficial Específica (ASE), observamos que existe un aumento de la superficie luego del tratamiento Ácido al 5 y 10 M y del tratamiento Alcalino al 0.1 y 5 M. A mayor concentración de Ácido y de Hidróxido, mayor es el área superficial presentada en el adsorbente, en comparación con el blanco (sin tratamiento). Con las imágenes MEB y análisis elemental EDX comprobamos las observaciones estructurales, obtenidas por ASE.

Palabras clave: *adsorbentes, porosidad, interacciones electrostáticas, compuestos orgánicos refractarios, persistentes*

INTRODUCCIÓN

Las fuentes localizadas de agua de consumo humano en la tierra consisten de mantos acuíferos o aguas subterráneas y cuerpos de agua superficial dulce que contienen aproximadamente 0.25 millones de km³ (Schmidt, Haderlein, Pfister, & Forster, 2004). Los tratamientos convencionales de degradación de contaminantes en medios acuosos que incluyen el primario (físico), secundario (químico) y terciario (biológico) no son efectivos al persistir ciertas moléculas que se consideran refractarias o persistentes (Biswas, Mohapatra, Kumari, Meikap, & Sen, 2020). Estos compuestos orgánicos tienden a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. La degradación o mineralización efectiva de sustancias orgánicas sintéticas persistentes disueltas en aguas residuales con un potencial dañino para la salud humana, para la calidad de vida de especies acuáticas o incluso debido a la disminución de las reservas de agua de consumo humano es una estrategia útil para combatir este impacto al ambiente (Anushree, Kumar, & Sharma, 2017; García-Hernández et al., 2019). Estas moléculas son consideradas teratogénicas, mutagénicas y cancerígenas con una baja biodegradabilidad por lo que igual se categorizan como residuos peligrosos en medios acuosos (Vittenet et al., 2015).

A pesar de las restricciones en la producción o minimizar el uso de muchos de estos compuestos llamados Compuestos Orgánicos Refractarios, Persistentes o Recalcitrantes, promovidas a partir del convenio de Estocolmo en 2001 y en donde cada país de los 127 países que firmaron, entre ellos México, realizaron su reglamentación particular, todavía hay compuestos heredados de muchos años de liberación sin control en suelos y bio-acumulados a través de las cadenas alimenticias, contaminación



por lixiviados de aguas subterráneas, así como otra ruta de generación al ser tratados por métodos no eficientes como los tratamientos convencionales en el caso de aguas residuales (Yarto, Gavilán, & Barrera, 2003). Los tratamientos no convencionales en residuos acuosos que son más efectivos para degradar compuestos orgánicos persistentes pueden ser químicos y físicos. Entre los procesos químicos de oxidación avanzada se encuentran: la ozonación, proceso Fenton, proceso foto-Fenton, fotocatalisis heterogénea, oxidación usando H_2O_2/UV , Oxidación Catalítica por Vía Húmeda. Los métodos físicos no convencionales destacan separación por membrana y adsorción por carbón activado. Es por ello que las tecnologías ambientales juegan un papel importante en la eliminación de los impactos ambientales del crecimiento económico (Zheng, Zhao, Zhou, Fu, & Li, 2013).

Los materiales adsorbentes surgen como una tecnología emergente, como una nueva estrategia más efectiva y sustentable dentro de las existentes debido a la disponibilidad de la biomasa (residuos lignocelulósicos), bajo costo (disponibles en grandes cantidades) y fácil operación (Zhou, Zhang, & Cheng, 2015). Los materiales lignocelulósicos son un subproducto de la industria agroindustrial que está disponible en grandes cantidades, por ejemplo, en la producción de plátano, sandía, cacao, entre otros, surgen desechos de las cáscaras o de las vainas luego de adquirir el fruto deseado, lo que a menudo representa un problema de eliminación o disposición final de estos residuos (Bhattacharjee, Dutta, & Saxena, 2020). La lignina es un complejo polímero compuesto de unidades fenilpropano, que están entrecruzadas entre sí por una variedad de diferentes enlaces químicos. Las hemicelulosas son polímeros ramificados compuestos de xilosa, arabinosa, galactosa, manosa y glucosa. Las hemicelulosas se unen a los haces de fibrillas de celulosa para formar microfibrillas, que mejoran la estabilidad de la pared celular. Ambos hemicelulosa y celulosa contienen grupos funcionales de oxígeno incluyendo grupos carbonil, hidroxil y éter (Djilali, Elandaloussi, Aziz, & de Ménorval, 2016). Estos grupos funcionales pueden ligar iones metales pesados y contaminantes orgánicos de moléculas pequeñas al hacer trampa, completar, coordinar, enlaces de hidrógeno y similares, por lo que juegan un papel importante en la preparación de adsorbentes. Además, la adsorción puede ocurrir por complejación, intercambio iónico, atracción electrostática y enlaces de hidrógeno (Djilali et al., 2016).

Los granos de cacao se obtienen de un árbol esterculiáceo llamado cacaotero, los cuales se encuentran dentro de su fruto, llamado baya, que es conocido como mazorca o vaina, en los países productores. Esta baya constituye el recubrimiento de los granos que se encuentran en su interior distribuidos uniformemente en forma de una placentación axial recubierta de una masa o pulpa mucilaginoso de color blanco (López Medina, 2017). Cada mazorca o vaina pesa próximamente entre 700 a 1000 g y luego del desgranado su peso queda entre 600 a 900 g, por lo que se desecha en un solo fruto, entre 600 a 900 g a los tiraderos de cielo abierto sin control. Generalmente 10 T de vaina de cacao generarán 1 T de grano de cacao seco, por lo que, al no tener algún uso comercial gran parte de esta biomasa proveniente del fruto se desecha en los llamados “basureros” (Pua et al., 2013). Esta biomasa provoca impacto en el ambiente ya que al comenzar su proceso de degradación natural producen Gases del Efecto Invernadero como el metano los cuales contaminan el aire y lixiviados que afectan a la salud humana (Panak Balentić et al., 2018). México es un país que aporta el 1.2% de la producción mundial; sin embargo, no pertenece a la Organización Internacional de Cacao (ICCO), donde se encuentran solamente aquellos países que cuentan con cacao de reconocida calidad (INEGI, 1999). Conforme a lo presentado por INEGI Encuesta Nacional Agropecuaria 2019, en México, el cacao se cultiva en 57 mil hectáreas y se producen 24 mil toneladas al año. A pesar de ello desde el 2005 la producción se ha reducido debido a plagas que han afectado las cosechas, entre ellas producto de la acción del hongo *Moniliophthora roreri*, causa otra enfermedad muy dañina, la moniliasis, que destruye los granos dentro de las vainas.

Dentro de las industrias más prolíferas en el mundo, se encuentra la textil, estas generan una gran cantidad de contaminantes orgánicos sintéticos al medio ambiente debido a los colorantes que en su mayoría los utilizan en sus procesos de teñido y estos son descargados en sus aguas residuales, debido a un inadecuado e ineficiente tratamiento. Se estima que hasta un 50% de los colorantes utilizados en la industria textil termina en las aguas descargadas por este sector industrial debido a su bajo grado de fijación en las telas (Etim, Umoren, & Eduok, 2016). Los tintes son catalogados como Compuestos Orgánicos Refractarios (CORs), por lo que los tratamientos convencionales de aguas residuales, no surgen efecto en ellos, y están relacionados con problemas en salud como dermatitis, irritación de la piel e incluso cáncer, así como mutaciones en el ser humano, de allí la importancia de tratarlos efectivamente (Khan, Shahjahan, & Khan, 2018). Desde el punto de vista del impacto al ambiente, es un



reto tratar efluentes o descargas industriales que contienen colorantes o tintes, debido a su origen sintético y sus estructuras aromáticas, que les confieren la característica de ser biológicamente no biodegradables y además ser tóxicos para la salud (Gusain, Kumar, & Ray, 2020). Entre los muchos métodos físicos y químicos disponibles, el proceso de adsorción es una de las técnicas más efectivas que han sido empleadas exitosamente para remover colorantes contenidos en aguas residuales (Gusain et al., 2020) (Weng, Lin, & Tzeng, 2009).

Es por esta problemática, que varios investigadores de diferentes partes del mundo, están proponiendo métodos más efectivos para el tratamiento de aguas residuales compuestas por Compuestos Orgánicos Refractarios entre ellos fenol, tintes o colorantes, en específico con el uso de los materiales adsorbentes, preparados a partir de biomasa.

Un grupo de investigadores de Algeria (Larous. & Meniai, 2012) , usaron aserrín para la preparación de materiales adsorbentes con un tratamiento ácido a 150°C por 24 h, para la remoción de fenol. Ellos analizaron la influencia de diferentes parámetros, como pH, temperatura, relación sólido-líquido y concentración inicial de fenol, tiempo de contacto sobre el proceso de adsorción. Etim y colaboradores (Etim et al., 2016), del país africano de Nigeria ocuparon residuos de coco para la producción de materiales adsorbentes aplicados en la remoción de colorantes catiónicos. Estos científicos no aplicaron ningún tratamiento a los residuos de coco. De acuerdo al artículo presentado por (Dai et al., 2018), la actividad industrial ha causado severos problemas ambientales, pero la adsorción es considerada una de las tecnologías más efectivas para el manejo de contaminantes, debido a que es de bajo costo y fácil de manejar. Estos investigadores reportan residuos agrícolas como base para la preparación de materiales adsorbentes. Los residuos agrícolas son materiales lignocelulósicos de la industria agroalimentaria, que contienen principalmente hemicelulosa, celulosa y lignina. Estos materiales pueden ser ocupados para remover metales pesados, cadmio, cobre, níquel y compuestos orgánicos como colorantes o tintes, drogas, antibióticos o compuestos aromáticos. Científicos de la India (Das, Bar, & Das, 2020), país asiático, usaron cáscaras de nueces para preparar materiales adsorbentes, ocupados para adsorber iones Pb(II) contenido en soluciones acuosas. Investigadores europeos, de Grecia y Polonia (Kowalczyk et al., 2020), evaluaron el proceso de optimización por Metodología de Superficie de Respuesta, de la adsorción de iones de metales como Cu(II), Mn (II) y Zn (II) usando residuos agroindustriales de alfalfa.

Finalmente, este proyecto se enfocará en evaluar los parámetros más significativos que influyen durante el método de preparación de materiales nanoadsorbentes ocupando biomasa como materia prima y su efecto en las propiedades estructurales de estos materiales. Con las técnicas de caracterización de Fisisorción de Nitrógeno y Microscopía Electrónica de Barrido usadas sobre muestras de estos materiales adsorbentes, podremos estudiar los cambios en la superficie de su estructura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación o síntesis de los adsorbentes a partir de biomasa

La metodología propuesta para la producción de nanoadsorbentes tiene como finalidad explorar alternativas para que los materiales preparados, posean características estructurales valiosas, como el tipo de porosidad, área superficial y generación de grupos funcionales adecuados para colorantes catiónicos, se consideran juegan un papel esencial para la eficiencia del proceso de adsorción.

Las vainas de cacao obtenidas luego del proceso de extracción del grano de cacao sin fermentar, fueron lavadas con agua desionizada caliente para eliminar la suciedad y partículas adheridas en la superficie, luego secadas a 100 °C durante 24 h para eliminar la humedad, hasta alcanzar peso constante. El adsorbente seco, se trituro en granos, se tamizó para diferentes tamaños de partícula y luego se conservaron en desecadores para su uso en el tratamiento químico respectivo.

Para el tratamiento ácido se evaluaron 2 diferentes concentraciones de H₂SO₄, siendo 0.5 y 10 M. El material seco y pulverizado fue tratado con la solución respectiva de H₂SO₄ usando una relación de 1/10 (vaina: H₂SO₄ p/p) a temperatura ambiente por 12 h. Los polvos tratados fueron lavados con exceso de agua desionizada hasta alcanzar el pH del filtrado de 7. Los polvos lavados se secaron al horno a 80 °C durante 24 h y se almacenaron en un desecador antes de su uso en el proceso de adsorción con la



molécula problema. El propósito del tratamiento anterior fue eliminar sustancias cerosas e impurezas en la superficie del polvo.

El tratamiento alcalino fue llevado a cabo usando NaOH, al igual que en la técnica ácida, se proponen 2 diferentes niveles de concentración desde 0.1 y 5 M. Los polvos de vaina de cacao que fueron secados al horno, posteriormente fueron sumergidos en una solución de hidróxido de sodio respectiva (relación sólido-líquido de 100 g/l) a temperatura ambiente por 12 h. La suspensión se filtró y se lavó a fondo con agua desionizada hasta que se obtuvo un pH neutro del filtrado y luego se lavó con agua desionizada el material. Se secó en un horno a 80 °C hasta alcanzar el peso constante, se consideró un tiempo prudente de 24 h. Finalmente, se preservaron en un desecador antes de su uso en el proceso de adsorción con la molécula problema.

Proceso de adsorción con la molécula contaminante refractaria problema, azul de metileno colorante o tinte catiónico.

En este estudio se pretende posteriormente, investigar la influencia de diferentes parámetros tales como el pH, temperatura y tipo de tratamiento aplicado al adsorbente (ácido o alcalino) sobre el desempeño del proceso de adsorción usando biomasa tratada de vaina de cacao. Los residuos lignocelulósicos de vaina de cacao fueron tratados con NaOH y H₂SO₄.

Además, evaluaremos el material adsorbente antes del tratamiento y luego del tratamiento químico para verificar cual tratamiento químico mejora la capacidad de adsorción de un contaminante orgánico persistente.

Experiencias de adsorción en el laboratorio

Las concentraciones de azul de metileno (AM) serán medidas usando un espectrofotómetro UV-Vis en una longitud de onda máxima de 665 nm. La curva de calibración del estándar será preparada desde diferentes concentraciones de soluciones de AM, estuviera en un rango de 0.1 a 1 de absorbancia.

Se adicionará una cantidad de vaina de cacao tratada disuelta en 100 ml de una solución problema con una concentración inicial de AM de 500 ppm, en un matraz Erlenmeyer de 250ml, montado sobre una parrilla de calentamiento con agitación magnética, permitiendo regular una velocidad de agitación constante de 150 rpm. El tiempo óptimo del proceso tomado de la literatura científica será de 150 min. Se realizarán una serie de experimentos por duplicado al evaluarse el efecto de la temperatura (35 y 55 °C) y pH (2 y 6). En todos los experimentos se usarán 0.4 g de material adsorbente. Las muestras retiradas serán filtradas por centrifugación a 4000 rev/min por 10 minutos y analizadas mediante espectrofotometría ultravioleta visible a una longitud de onda máxima de 665 nm comparándola con una curva de calibración. El **Cuadro 1**, indica los experimentos propuestos para evaluar la cinética de adsorción con las variables seleccionadas en base al estado de arte de este campo de investigación, manteniendo constante concentración inicial del contaminante de 500 ppm, volumen de la solución 100 ml, velocidad de agitación de 150 rpm y tiempo del proceso de 150 min.

Diseño experimental factorial

Para un diseño experimental 2³, evaluándose 3 factores con 2 niveles diferentes, el número total de experimentos propuestos se presentan el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Experimentos propuestos para el diseño factorial 2³ de adsorción de AM.

Número de experimento	Tipo de tratamiento: alcalino (alc) o ácido (ac)	Temperatura (°C)	pH
1	Alc	35	2
2	Alc	55	2
3	Ac	35	2
4	Ac	55	2
5	Alc	35	6
6	Alc	55	6
7	Ac	35	6
8	Ac	55	6

Técnicas de caracterización usadas en los materiales adsorbentes sintetizados

Caracterización Textural: Área Superficial Específica BET (S_{BET})

La fisisorción de nitrógeno se usó para establecer las isotermas de adsorción, la distribución de tamaño de poro y el área superficial específica. Las áreas superficiales de las muestras se determinaron a partir de las isotermas de adsorción de nitrógeno a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un Micromeritics Tristar 3020 II. Antes del análisis, las muestras se desgasificaron a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 4 h. Los datos de adsorción fueron analizados

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Las muestras de los materiales adsorbentes sintetizados con mayor área y el blanco (sin tratamiento), se analizaron por microscopía electrónica de barrido (MEB). Para el análisis morfológico, las muestras se montaron sobre una cinta conductora de carbón de doble cara en una portamuestra de aluminio. Posteriormente se observaron en un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-6010LA. Las condiciones de análisis fueron a 20 kV de voltaje de aceleración en condiciones de alto vacío a 5000X y 35000X. Se utilizó un detector de energía dispersiva (EDS) acoplado al MEB para realizar el análisis semicuantitativo y de distribución de elementos en la superficie de las muestras. Las imágenes se procesaron en el Software InTouchScope™ Version 1.03A (JEOL TECHNICS LTD) utilizando el software ASAP 2020 basado en la isoterma Brunauer-Emmett-Teller (BET).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

La materia prima fue brindada por uno de las proveedoras de cacao de la Chocolatería Artesanal Citlalli presentada en la **Figura 1 b)** por parte del productor de cacao Sr. Efrén Hernández Maldonado, cuyo rancho está ubicado en la Ranchería Miahuatlán, Cunduacán, Tabasco.

Se seleccionó un lote de 15 vainas de cacao, en su mayoría de tipo Trinitario, con un peso aproximado inicial de 4 kg. Este lote se tomó el material base para los dos tratamientos ácido y dos alcalino, así como las réplicas, a que se sometería el adsorbente. En el procesamiento del grano, se realizó la extracción de las semillas con el mucílago, que se encuentran dentro de la vaina de cacao. Posterior a ello se limpia la vaina eliminando endocarpio y exocarpio dejando solamente mesocarpio, con este parte de la vaina, se prepararon los materiales adsorbentes (**Figura 2**).

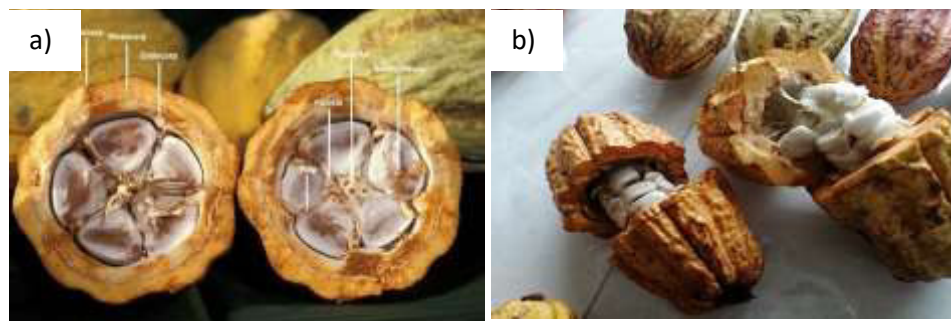


Figura 1. Vaina de cacao a) partes del fruto de cacao y b) frutos de cacao obtenidos del rancho en la Ranchería Miahuatlan.

La estructura de la superficie y la morfología del material adsorbente luego de los tratamientos químicos y sin tratamiento (blanco) se analizaron mediante Microscopía Electrónica de Barrido a cargo de la M.I.

Anabel González Díaz encargada del laboratorio de análisis y caracterización de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

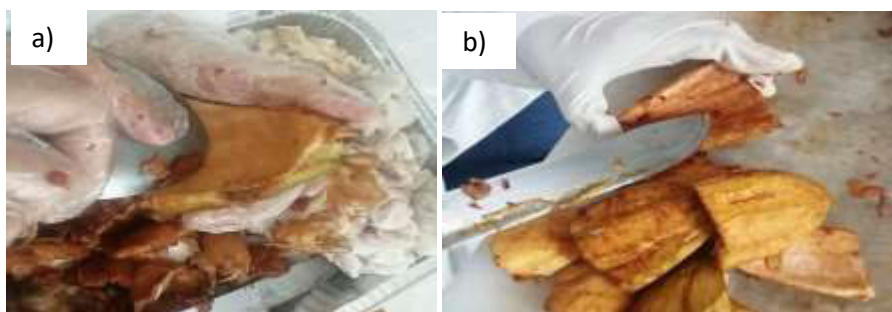


Figura 2. Proceso de extracción del mesocarpio de la vaina de cacao: a) Limpieza de restos de mucílago adherido a las paredes internas de la vaina (endocarpio). b) vaina de cacao liberada de exocarpio y endocarpio.

El análisis de Fisisorción de nitrógeno mediante la isoterma de Brunauer-Emmett-Teller (BET) se realizó mediante el equipo Micromeritics TrisStar II Surface Area and Porosity, ubicado en el Centro de Investigación de Ciencias y Tecnología Aplicada del estado de Tabasco. La encargada del Laboratorio de Nanomateriales Catalíticos aplicados al Desarrollo de Fuentes de Energía y Remediación Ambiental, la M.C. Nayi Cristel Castillo Gallegos brindó el apoyo en el manejo de software y la técnica experimental.

En el **Cuadro 2** aparecen los resultados de Área superficial Especifica (ASE) de las muestras que se tomaron en los experimentos usando tratamiento de H_2SO_4 a diferentes concentraciones al 0.5 y 10 M respectivamente.

Cuadro 2. Resultados de BET obtenidos de las muestras usando los tratamientos con H_2SO_4

Tipo de tratamiento	ASE (dm^2/g)	ASE (dm^2/g)
Ácido al 0.5 M	9.8, 15.93	13
Ácido al 10 M	27, 26.15	27
Blanco	1.69, 5.7	4

En el **Cuadro 3** se muestran los resultados de Área superficial Especifica de las muestras de biomasa de vaina de cacao que se tomaron en los experimentos usando tratamiento de NaOH a diferentes concentraciones al 0.5 y 10 M respectivamente.

Cuadro 3. Resultados de BET obtenidos de las muestras usando los tratamientos con NaOH

Tipo de tratamiento	Área (dm^2/g)	Área promedio (dm^2/g)
---------------------	-------------------	----------------------------

Alcalino al 0.1 M	2, 2.39	2
Alcalino al 5 M	22.18, 11.09	17
Blanco	1.69, 5.7	4

La **Figura 3a y 3b** muestra la vaina de cacao sin tratamiento y la **Figura 3c y 3d** vaina luego del tratamiento ácido al 10 M y alcalino al 5M, respectivamente. La muestra sin tratamiento presentó una superficie ligeramente rugosa. En las muestras con tratamiento se observan cambios drásticos estructurales. La morfología de biomasa con tratamiento ácido y alcalino era extremadamente diferente y variada al original.

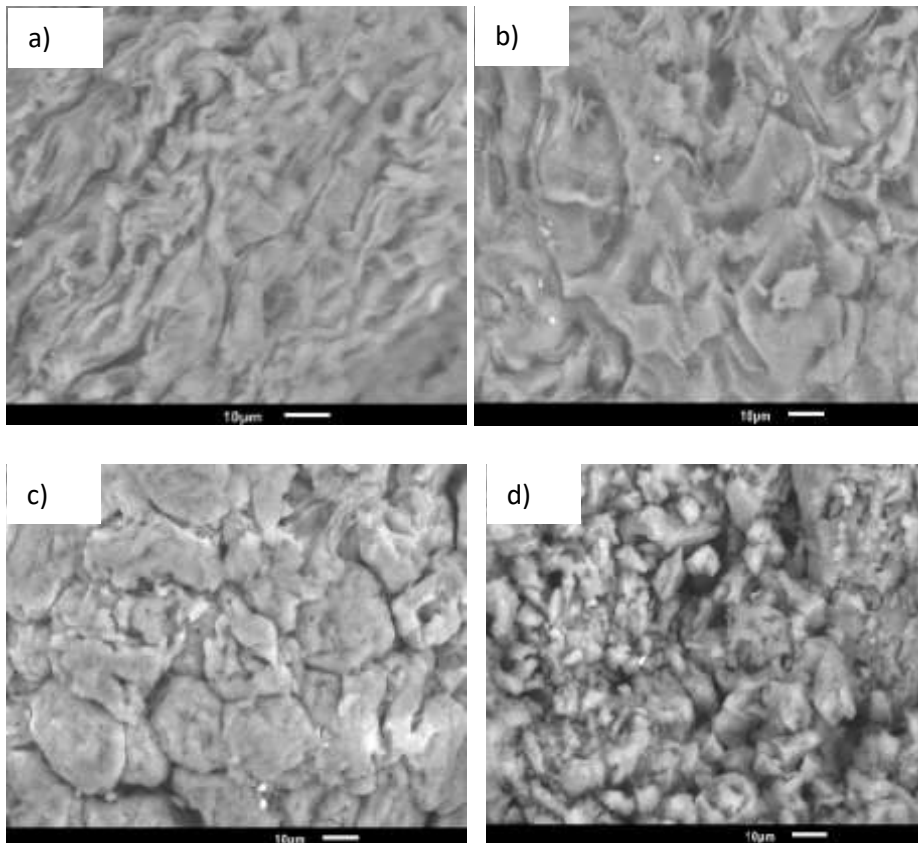


Figura 3. Imágenes de micrografías MEB de muestras de a) y b) biomasa sin tratamiento y c) biomasa con tratamiento alcalino y d) biomasa con tratamiento ácido.

En particular el tratamiento con ácido sulfúrico destapó más cavidades en la vaina de cacao favoreciendo el desarrollo de aberturas con mayor profundidad en comparación al blanco. Estas fosas son dispersas, heterogéneas y amorfas. Estos cambios morfológicos podrían atribuirse a la destrucción parcial de la celulosa, hemicelulosa y lignina producto del tratamiento ácido. Con respecto al tratamiento alcalino, es una superficie con menor número de fosas o poros, y, por lo tanto, es una superficie menos áspera, en comparación al tratamiento ácido, así como la biomasa sin tratamiento. Estos resultados vienen a corroborar lo presentado en Fisisorción de nitrógeno, donde la mayor ASE es atribuida a los



materiales tratados con ácido. Otra observación importante con respecto a la estructura del material, que se presentan en la vaina de cacao sin tratamiento, son aglomerados de mayor tamaño y alargados, aunque de forma irregular y heterogénea, en cambio la biomasa tratada ya sea alcalina o ácidamente, presenta aglomerados de menor tamaño, menos largos, igual irregulares, pero con tendencia a esféricos.

La composición elemental medida por Espectrofotometría de Energía Dispersiva de Rayos X (EDX) se presenta en **Cuadro 4**. La información relevante obtenida de este análisis, está relacionada la disminución del contenido de oxígeno en la vaina de cacao tratada ácidamente, lo que, vinculado con una mayor carbonización de este material, en comparación al alcalino. Por lo tanto, la vaina de cacao tratada alcalinamente, esta menos carbonizada en comparación a la vaina tratada ácidamente, También se ha señalado por M.P. Elizalde-González et al. 2007, que un contenido más alto de nitrógeno, está relacionada a un mayor proceso de carbonización. Además, en el caso del tratamiento alcalino, no se detectó elementos inorgánicos como K, P y Ca. En el caso de la vaina de cacao con tratamiento ácido, solo no se detectó el P.

Cuadro 4. Composición Elemental Química obtenida mediante Espectrofotometría de Energía Dispersiva de Rayos X para biomasa sin tratamiento y con tratamiento ácido y alcalino

Biomasa sin tratamiento		Biomasa con tratamiento ácido		Biomasa con tratamiento alcalino	
Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%
C	47.40	C	48.91	C	48.26
N	13.93	N	16.52	N	11.82
O	38.32	O	28.73	O	39.92
K	0.15	K	0.01	K	N.D.
P	0.04	P	N.D.	P	N.D.
Ca	0.18	Ca	0.33	Ca	N.D.
Total	100	Total	100	Total	100

CONCLUSIONES

De acuerdo a las ASE medidas por el método de BET, observamos que existe un aumento de la superficie luego del tratamiento Ácido al 5 y 10 M y del tratamiento Alcalino al 0.1 y 5 M. A mayor concentración de Ácido y de Hidróxido, mayor es el área superficial presentada en el nanoadsorbente, en comparación con el blanco (sin tratamiento). Con las imágenes MEB y análisis elemental EDX comprobamos las observaciones estructurales, obtenidas por ASE. Por lo tanto, el adsorbente preparado a partir de vaina de cacao mediante activación química con NaOH y H₂SO₄ obtiene excelentes propiedades superficiales y será un adsorbente eficaz para eliminar contaminantes orgánicos, en especial lo centraremos en la remoción de colorantes sintéticos en soluciones acuosas.

LITERATURA CITADA:

- Anushree, Kumar, S., & Sharma, C. (2017). Synthesis, characterization and application of CuO-CeO₂nanocatalysts in wet air oxidation of industrial wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(4), 3914–3921. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.07.061>
- Bhattacharjee, C., Dutta, S., & Saxena, V. K. (2020). A review on biosorptive removal of dyes and heavy metals from wastewater using watermelon rind as biosorbent. *Environmental Advances*,



- 2(September), 100007. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100007>
- Biswas, S., Mohapatra, S. S., Kumari, U., Meikap, B. C., & Sen, T. K. (2020). Batch and continuous closed circuit semi-fluidized bed operation: Removal of MB dye using sugarcane bagasse biochar and alginate composite adsorbents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103637. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103637>
- Dai, Y., Sun, Q., Wang, W., Lu, L., Liu, M., Li, J., ... Zhang, Y. (2018). Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. *Chemosphere*, 211, 235–253. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.179>
- Das, A., Bar, N., & Das, S. K. (2020). Pb(II) adsorption from aqueous solution by nutshells, green adsorbent: Adsorption studies, regeneration studies, scale-up design, its effect on biological indicator and MLR modeling. *Journal of Colloid and Interface Science*, 580, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.07.017>
- Djlali, Y., Elandaloussi, E. H., Aziz, A., & de Ménorval, L. C. (2016). Alkaline treatment of timber sawdust: A straightforward route toward effective low-cost adsorbent for the enhanced removal of basic dyes from aqueous solutions. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20, S241–S249. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.10.013>
- Etim, U. J., Umoren, S. A., & Eduok, U. M. (2016). Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20, S67–S76. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.09.014>
- García-Hernández, L. E., Frías-Márquez, D. M., Gpe Pacheco-Sosa, J., Cervantes-Urbe, A., Carlos Arévalo-Pérez, J., Pérez-Vidal, H., ... Torres-Torres, J. G. (2019). 2-Chlorophenol degradation by catalytic wetair oxidation using copper supported on TiO₂-CeO₂-ZrO₂. *Water Science and Technology*, 80(5), 911–919. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.330>
- Gusain, R., Kumar, N., & Ray, S. S. (2020). Recent advances in carbon nanomaterial-based adsorbents for water purification. *Coordination Chemistry Reviews*, 405, 213111. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.213111>
- Khan, E. A., Shahjahan, & Khan, T. A. (2018). Adsorption of methyl red on activated carbon derived from custard apple (*Annona squamosa*) fruit shell: Equilibrium isotherm and kinetic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 249, 1195–1211. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.125>
- Kowalczyk, P., Ligas, B., Skrzypczak, D., Mikula, K., Izydorczyk, G., Witek-Krowiak, A., ... Chojnacka, K. (2020). Biosorption as a method of biowaste valorization to feed additives: RSM optimization. *Environmental Pollution*, 115937. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115937>
- Larous., S., & Meniai, A. H. (2012). The use of sawdust as by product adsorbent of organic pollutant from wastewater: Adsorption of phenol. *Energy Procedia*, 18, 905–914. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.105>
- López Medina, S. E. (2017). Características germinativas de semillas de Theobroma cacao L. (Malvaceae) "cacao." *Arnaldoa*, 24(2), 609–618. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24212>
- Panak Balentić, J., Ačkar, Đ., Jokić, S., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., ... Pavlović, N. (2018). Cocoa Shell: A By-Product with Great Potential for Wide Application. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 23(6), 1–14. <https://doi.org/10.3390/molecules23061404>
- Pua, F. L., Sajab, M. S., Chia, C. H., Zakaria, S., Rahman, I. A., & Salit, M. S. (2013). Alkaline-treated cocoa pod husk as adsorbent for removing methylene blue from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(3), 460–465. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.06.012>
- Schmidt, T. C., Haderlein, S. B., Pfister, R., & Forster, R. (2004). Occurrence and fate modeling of MTBE and BTEX compounds in a Swiss Lake used as drinking water supply. *Water Research*, 38(6), 1520–1529. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.12.027>
- Vittenet, J., Aboussaoud, W., Mendret, J., Pic, J. S., Debellefontaine, H., Lesage, N., ... Brosillon, S. (2015). Catalytic ozonation with γ -Al₂O₃ to enhance the degradation of refractory organics in water. *Applied Catalysis A: General*, 504, 519–532. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2014.10.037>
- Weng, C. H., Lin, Y. T., & Tzeng, T. W. (2009). Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1), 417–424. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.080>
- Yarto, M., Gavilán, A., & Barrera, J. (2003). El Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos



-
- persistentes y sus implicaciones para México. *Gaceta Ecológica*, (69), 7–28. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906901.pdf>
- Zheng, C., Zhao, L., Zhou, X., Fu, Z., & Li, A. (2013). Treatment Technologies for Organic Wastewater. *Treatment technologies for organic wastewater*, 38. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/52665>
- Zhou, Y., Zhang, L., & Cheng, Z. (2015). Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 212, 739–762. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.10.023>



EVALUACIÓN DE EXTRACTOS DE CAFÉ OBTENIDOS POR VÍA ENZIMÁTICA VS SONICACIÓN

EVALUATION OF COFFEE EXTRACTS OBTAINED BY ENZYMATIC PATHWAY VS SONICATION

¹Rosa- Morales M.; ¹ Ríos-Cortés AM.; ²Ríos- Cortés G.

¹Instituto Politécnico Nacional. Centro de investigación en Biotecnología Aplicada CIBA-Tlaxcala. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala, C.P. 90700, México.

²Ingeniería Química Instituto Tecnológico de Orizaba. Av. Oriente 9 Núm. 852 Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Ver., C.P. 94320, México.

*mrosasmo@ipn.mx

RESUMEN

Este trabajo se centró en la evaluación de dos metodologías (sonicación y uso de enzimas) y la tradicional (cafetera industrial) para obtener extractos de café con atributos organolépticos y características fisicoquímicas superiores a los encontrados en el mercado actual.

Se evaluó el efecto de cuatro enzimas sobre la generación de azúcares reductores y modificación de °Brix de café tostado y molido, a concentraciones de (4, 8, y 20 mg/g) a temperaturas (45, 60 y 72 °C). Los resultados indicaron que las mejores combinaciones de factores fueron a 60°C, 8mg/g, empleando una combinación de tres diferentes enzimas.

Extracción por sonicación de punta. Se determinó que empleando un sonicador con un microtip de ¼ a una amplitud de 50 % con una frecuencia de 20 kHz en modo pulsátil (1s sónica, 1s no sónica) con un tiempo de sonicado de 2 min a 60 °C fueron las mejores condiciones para obtener un extracto con la mayor cantidad de azúcares reductores

Palabras clave: extractos de café, acidez, aroma y cuerpo

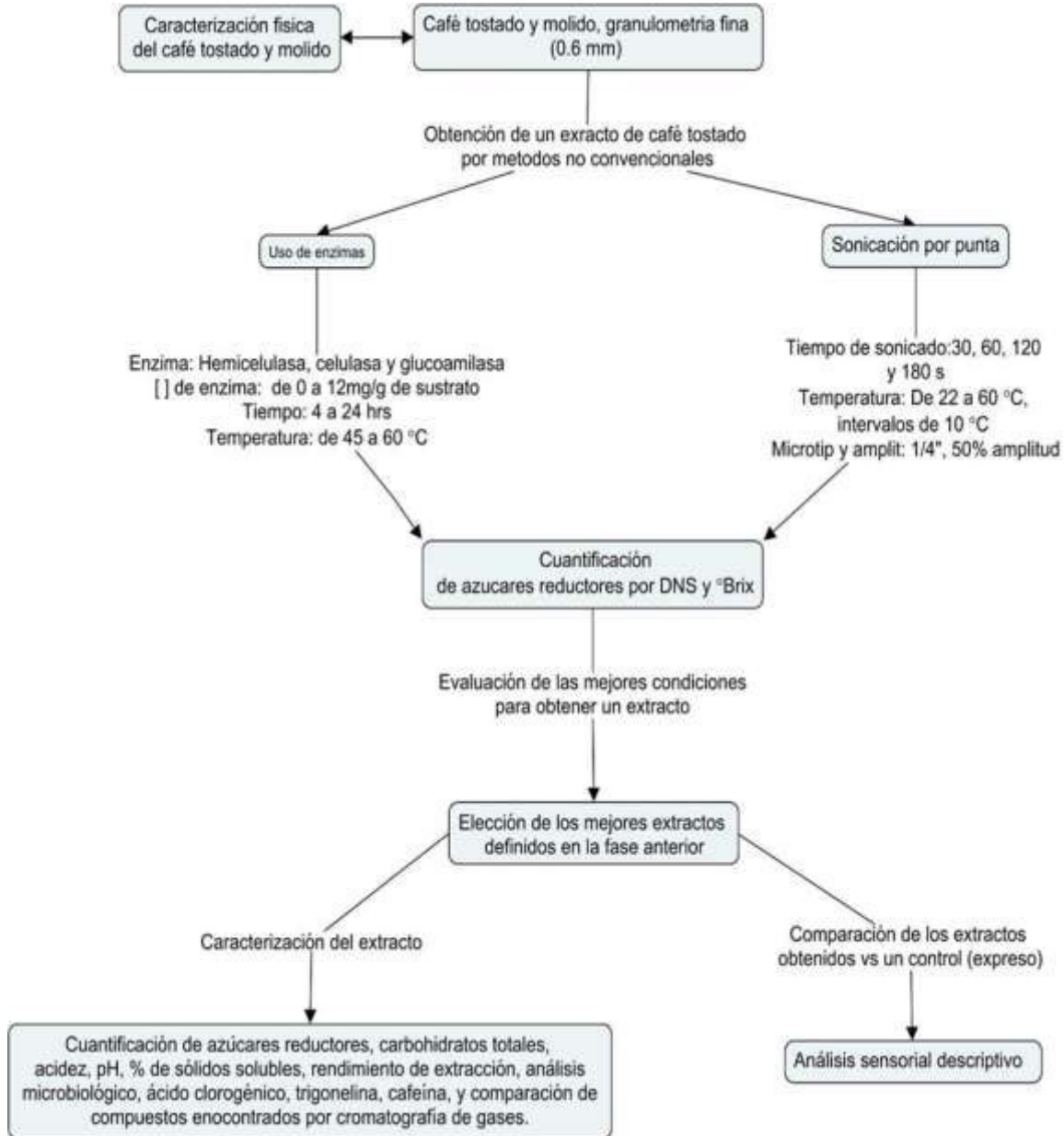
INTRODUCCIÓN

El café es el segundo producto que se comercializa en el mercado internacional, solo superado por el petróleo. Existen dos especies; *Coffea arabica* (café arábico) y *Coffea canephora* (café robusta), con una producción de 70 y 30% respectivamente. El consumo de café en México se encuentra cerca de 1.7 kg per cápita debido a sus propiedades y beneficios, influyendo también el crecimiento de la clase media en las economías emergentes y la apertura de cafeterías y tiendas de conveniencia que amplían la oferta de productos derivados de este (Cedras, 2014). La caficultura representa una actividad fundamental en el sector agrícola, no solo por el valor de su producción sino además por generar cerca de 3 millones de empleos. Es considerado un cultivo de gran relevancia ambiental puesto que el 99% de los predios cafetaleros se establecen bajo sombra, (SAGARPA, 2015). La temperatura de tuestión es entre 150 a 220 °C, la granulometría dependerá de la aplicación que se le quiera dar (grueso, mediano o fino), estos dos pasos son importantes para la obtención de un buen extracto de café (Moroney *et al.*, 2016).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar métodos no convencionales de extracción de café para la obtención de un producto de mayor calidad (conservando sus propiedades organolépticas) a los ya existentes en el mercado, se entiende como método no convencional; cualquier método diferente a la extracción por percolación a temperaturas por arriba de los 100 °C. Los métodos evaluados fueron: uso de enzimas (celulasas, hemicelulasas y glucoamilasa) y sonicación. Las pruebas fisicoquímicas incluyeron la caracterización del café tostado molido empleado; obtenidos los extractos se les determinó acidez titulable, pH, carbohidratos solubles, actividad antioxidante, polifenoles totales, sólidos solubles, rendimiento de extracción y análisis microbiológico. Se cuantificó cafeína, trigonelina y ácido clorogénico por HPLC, también se determinaron los componentes volátiles presentes en cada extracto por cromatografía de gases. Como evaluación final se realizó un análisis sensorial descriptivo para conocer el perfil de cada extracto.



Metodología



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad enzimática a 3 diferentes concentraciones

Se evaluó la actividad enzimática de Celulasa 5000, Celuzyme, Harizyme HL y Gucozyme a 45 °C. Se monitoreó la actividad de cada una cuantificando la concentración de azúcares reductores durante 24 h tomando muestras a las 0, 3, 6, y 24 h. Celulasa 5000 y Celuzyme

Celulasa 5000 y Celuzyme ambas son celulasas en presentación sólida y líquida respectivamente. Celulasa 5000 (Gráfico 1) mostró un incremento de 4.73 g/L de azúcares

reductores (AR) mientras que Celuzyme (Grafico 2) genero un aumento de 2.77 g/L de AR después de 24 h a 45 °C a una concentración de 20mg/g de café en ambos casos, existe diferencia significativa ($p < 0.005$) por tal motivo se decidió trabajar solo con Celulasa 5000 por la mayor actividad presentada. La mejor actividad encontrada fue a concentración de 20 mg/g sin embargo se consideró una elevada cantidad, además el empleo de estas cantidades aumentaría los costos a nivel industrial, tomando en cuenta que una vez adicionada la enzima esta no se recupera. Se propuso emplear 8 mg/g de sustrato la cual aumento 2.9 g/L de AR respecto al blanco.

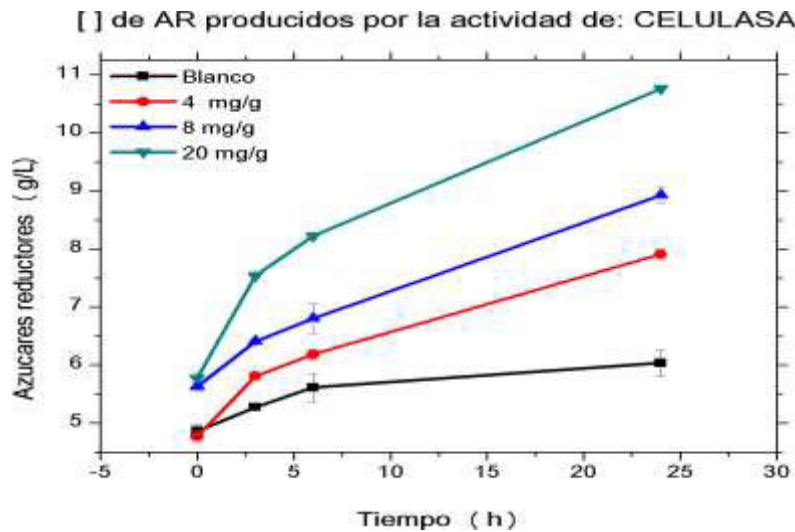


Gráfico 1. Actividad enzimática de Celulasa 5000 a diferentes concentraciones (Blanco, 4,8 y 20 mg/g de café)

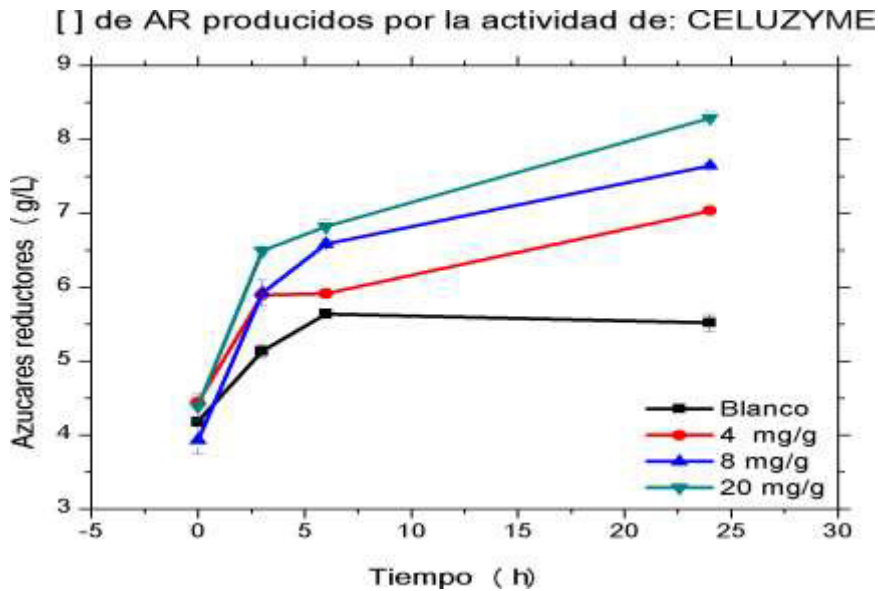


Gráfico 2. Actividad enzimática de Celuzyme a diferentes concentraciones (Blanco, 4, 8 y 20 mg/g de café).



Celulasa 5000 es un producto que contiene 3 tipos de celulasas necesarias para realizar el proceso de hidrolisis, endo- β -1,4-glucanasa (Cx), exo- β -1,4-glucanasa (C1) y β -1,4-glucosidasa (Cb), (Ovando y Waliszewski., 2005; Llanes, 2008) propusieron un mecanismo de acción en tres etapas, primero la Cx actúa sobre enlaces β -1,4 glucosídicos convirtiendo las cadenas largas a oligosacáridos. La segunda etapa consiste en la hidrolisis de 1,4 β -D-glucano y de celodextrinas por la C1 obteniendo unidades de celobiosa y glucosa, por último Cb cataliza la hidrolisis de celobiosa a glucosa. En el café tostado molido está constituido por celulosa sobre la que actúa el producto celulasa 5000.

Glucozyme

Glucozyme a pesar de ser una glucoamilasa la cual hidroliza enlaces de los residuos de glucosa, se decidió emplear para degradar los residuos resultantes de compuestos oligoméricos que pueden tener residuos de glucosa o xilosa sobre los cuales tiene actividad la enzima. La actividad de glucozyme aumenta 4.02 g/L de AR empleando 20 mg/g de sustrato, la diferencia entre usar una concentración de 8 mg/g de enzima es de 1.86 g/L, por tal motivo se propuso usar una concentración de 12 mg/g de sustrato. (Gráfico 3).

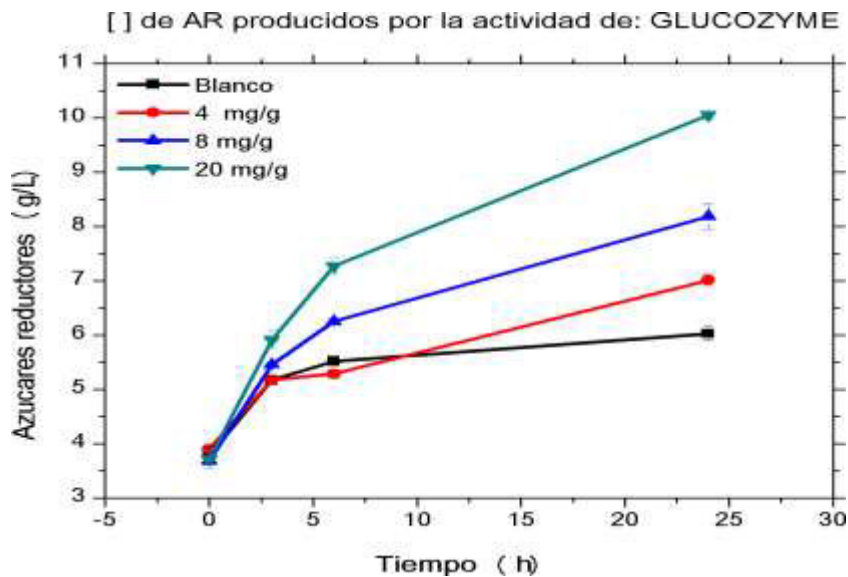


Gráfico 3. Actividad enzimática de Glucozyme (Blanco, 4, 8 y 20 mg/g de café).

Determinación de la temperatura óptima

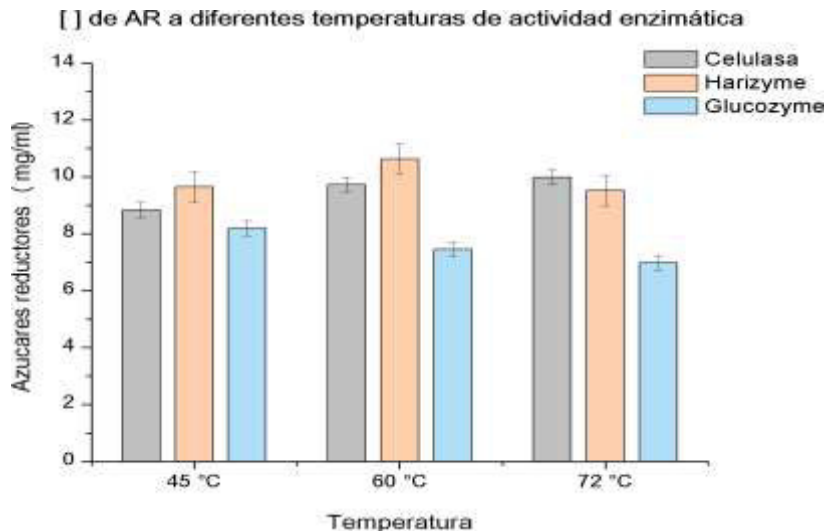


Gráfico 5. Concentración de azúcares reductores producidos por la actividad enzimática después de 24 h de Celulasa (8mg/g), Harizyme HL (8mg/g) y Glucozyme (15mg/g) a diferentes temperaturas 45, 60 y 72 °C.

Se evaluaron las enzimas celulasa 5000, harizyme HL y glucozyme a 3 diferentes temperaturas (45, 60 y 72 °C), se compararon contra el blanco a sus respectivas temperaturas después de 24 h. Para la Celulasa 5000 estadísticamente no hay diferencia significativa, a las tres temperaturas empleadas es estable, sin embargo, harizyme HL es estable de 45 a 60 °C al llegar a los 72 °C su actividad disminuye, mostrando una diferencia significativa, la glucoamilasa disminuye su actividad conforme aumenta la temperatura de 45 a 60 °C, estadísticamente existe diferencia significativa.

Evaluación del extracto obtenido por sonicador

La evaluación del extracto obtenido por este método se realizó por un análisis de sólidos solubles determinados en un refractómetro de campo (°Brix) y por la determinación de azúcares reductores. En la tabla 1 y 2 se muestran los datos obtenidos para los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas, también se realizó un ANOVA y una prueba de Tukey. Utilizando una temperatura de 50 a 60 °C con un tiempo de sonicado de 2 min se obtienen la mayor cantidad de AR y °Brix (8.45 g/L y 4 °Brix), estos son los parámetros empleados para la evaluación fisicoquímica y organoléptica del extracto.

Tabla 1. °Brix y concentración de AR a diferentes temperaturas.

Temperatura	N	°Brix	[] Azúcares reductores	Desv. Est.
30	3	3.8	7.124 ± 0.106 ^c	0.1507
40	3	4	7.386 ± 0.0441 ^{bc}	0.0623
50	3	4	7.701 ± 0.046 ^{ab}	0.0650
60	3	4	8.125 ± 0.114 ^a	0.1620

Nota: Las medias que no compartan una letra son significativamente diferentes.



Tabla 2 °Brix y concentración de AR a diferentes tiempos.

Tiempo	N	°Brix	[] Azúcares reductores	Desv. Est.
0.5	3	2	3.318 ± 0.215 a	0.305
1	3	2.2	8.159 ± 0.181 b	0.255
2	3	3	8.355 ± 0.097 b	0.137
5	3	3	8.516 ± 0.0578 b	0.081

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Este método fue aplicado por (Wang *et al.*, 2011) el cual aumentaban la concentración de cafeína y mantenían compuestos como 4-Tridecanone y 2-Methoxy-3-Methylpyrazine estos son sensibles al aumento de temperatura, de igual forma diferentes autores usaron el método para incrementar el rendimiento de extracción en compuestos como resveratrol de semillas de uva (Cho *et al.*, 2016)

Tabla 3 Valores de pH de los extractos de café obtenidos por los diferentes métodos.

Muestra	N	pH	Desv. Est.
Expreso	3	5.08 ± 0.032 ^{a+}	0.032
Act. Enz. 24 h	3	5.12 ± 0.026 ^{a+}	0.026
Act. Enz. 12 h	3	5.12 ± 0.025 ^{a+}	0.025
Act. Enz. 4 h	3	5.26 ± 0.032 ^b	0.032
Sonicación	3	5.35 ± 0.045 ^c	0.045

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Las no etiquetadas con un “+” son significativamente diferentes de la media del nivel control (expreso).

Cuantificación de compuestos volátiles mayoritarios en los extractos de café

Los compuestos encontrados en los extractos por cromatografía de gases usando la base de datos del cromatógrafo, únicamente se muestra el área bajo la curva entre mayor sea el valor mayor será la concentración.

En el extracto obtenido por vía enzimática a 24 h se encontraron 21 compuestos diferentes, ligeramente mayor a la muestra control (expreso) en la que se encontraron 19 compuestos. Dentro de los compuestos encontrados, el fenol y acetidrazida se repiten en la mayoría de las muestras, dando un descriptor de olor a ahumado y tostado/cocoa. Estos compuestos de igual manera fueron encontrados por (Yang *et al.*, 2016).

2-Propanona, 1-hidroxi se encontró únicamente en los extractos obtenidos por vía enzimática, dando un descriptor con olor a caramelo, sin embargo, aunque pareciera producto de la actividad enzimática, no es específico de estos extractos ya que (Bressanelo *et al.*, 2017) también encontró este compuesto en la caracterización de química de una taza de café. En comparación metil 4,6-etilideno- alfa-D-galactopiranosido es un compuesto con descriptor de olor a caramelo producto de reacciones de Maillard que solo está presente en el extracto obtenido por vía enzimática a 12 horas, encontraron que este compuesto es producido por un aumento en la concentración de galactosa y proteínas presentes en el medio, el aumento de galactosa se debe a la actividad enzimática descrita por (Delgado., 2008) quienes cuantificaron los monosacáridos producidos por



actividad enzimática sobre la fracción insoluble del café, los principales monosacáridos que aumentan son la galactosa (9 veces más) y manosa (30 veces más).

Dado que el olor característico del café es generado por la combinación aproximada de 800 compuestos volátiles diferentes no se puede determinar con los datos actuales.

Análisis sensorial descriptivo

El análisis sensorial se realizó con 7 jueces entrenados con hábitos en el consumo de café, se llevó a cabo un análisis descriptivo para cada extracto obtenido y un análisis comparativo entre las muestras. Los resultados proporcionados por el panel de jueces entrenados manifestaron una clara diferencia entre cada extracto de acuerdo a los atributos evaluados.

En la evaluación de sabor y aroma se puede observar en el caso de sabor el atributo con más diferencia es la acidez, puntuado estadísticamente diferente a los demás extractos, seguido del amargo, además se puede observar que el expreso tiene una mayor puntuación sin embargo estadísticamente es igual a los extractos obtenidos por sonicación y vía enzimática a las 4 y 24 horas, pero el obtenido a las 12 horas si es diferente estadísticamente presentando una menor puntuación. El extracto obtenido por sonicación presenta puntuaciones más altas para el caso de los descriptores de dulzor y herbal comparado con el expreso, esta combinación de atributos proporciona al extracto de café una mejor combinación organoléptica comparada contra un expreso en el cual el atributo de acidez al ser tan intenso cubre a los demás atributos.

CONCLUSIONES

Las condiciones para la obtención de extractos de café por vía enzimática fue una combinación de hemicelulasa, celulosa y glucoamilasa en concentraciones de 8mg/g, y 12 mg/g respectivamente, a una temperatura de 60°C por un tiempo de 24 h después de realizar un análisis sensorial se encontró que empleando un tiempo de 4 h se obtenía una calidad organoléptica semejante a los extractos obtenidos a las 12 y 24 h. El aumento del tiempo favoreció el incremento de compuestos como el ácido clorogénico, cafeína, trigonelina, carbohidratos solubles y compuestos volátiles, pero no se observó un aumento estadísticamente significativo en la evaluación sensorial por tal motivo se concluye que el mejor tiempo es a las 4 h de reacción.

Los mejores parámetros para obtener un extracto de café por sonicación consistieron en sonicar por 2 min modalidad pulsátil a 60°C con un microtip de ¼" con una amplitud del 50% a una frecuencia de 20 kHz, se llegó a esta conclusión después de evaluar la concentración de azúcares reductores y °Brix obtenidos.

Dentro de la caracterización fisicoquímica de los extractos evaluados y comparados contra los valores obtenidos en un expreso siendo este el proceso más eficiente hasta el momento para obtener un extracto; se encontró diferencia significativa importante ($\alpha=0.05$) en la actividad antioxidante, y concentración de ácido clorogénico, trigonelina y cafeína. No obstante, se encontró mayor número de compuestos volátiles en extractos obtenidos por vía enzimática a 24 h, este extracto también tenía la característica de mayor cantidad de carbohidratos solubles.

Organolépticamente se encontraron diferencias con el expreso siendo mayormente puntuado en el atributo de acidez, sabor, tostado e intensidad de café en aroma, el extracto obtenido por sonicación presentaba un equilibrio entre los atributos de acuerdo a los jueces además de ser mayormente puntuado en atributos como chocolate y piloncillo, en cuanto al extracto obtenido por vía enzimática a las 4 h se observaba una mejor conservación del atributo herbal en aroma.

LITERATURA CITADA

Ariza, B. T. S "Use of Gas Chromatography--Olfactometry in combination with Solid Phase Micro Extraction for cocoa liquor aroma analysis. International" *Food Research Journal*, 18(2). (2011).



- Bressanello, D., Liberto, E., Cordero, C., Rubiolo, P., Pellegrino, G., Ruosi, M. R., & Bicchi, C. "Coffee aroma: Chemometric comparison of the chemical information provided by three different samplings combined with GC-MS to describe the sensory properties in cup" *Food chemistry*, 214, 218-226. (2017).
- Cedrssa. "Producción y mercado de café en el mundo y en México". México, D.F. (2014).
- Cho, Y. J., Hong, J. Y., Chun, H. S., Lee, S. K., & Min, H. Y. "Ultrasonication-assisted extraction of resveratrol from grapes". *Journal of Food Engineering*, 77(3), 725-730. (2006).
- Delgado, P. A., Vignoli, J. A., Siika-Aho, M., & Franco, T. T. "Sediments in coffee extracts: Composition and control by enzymatic hydrolysis" *Food chemistry*, 110(1), 168-176. (2008)
- Ilanes, A. (Ed.). "Enzyme biocatalysis: principles and applications" Valparaíso, Chile: *Springer Science & Business Media*. (2008).
- Moroney, K. M., Lee, W. T., O'Brien, S. B., Suijver, F., & Marra, J. "Coffee extraction kinetics in a well mixed system". *Journal of mathematics in industry*, v. 7(1), 1-19. (2016)
- Ovando-Chacón, S. L., & Waliszewski, K. N. "Preparativos de celulasas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos". *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 21(42). (2005).
- SAGARPA. "Carpeta de difusión, convención internacional del café México". México. D.F. 2015
- Wang, C. C., Chou, Y. Y., Sheu, S. R., Jang, M. J., & Chen, T. H. "Application of ultrasound thermal process on extracting flavor and caffeine of coffee". *Thermal Science*, 15(suppl. 1), 69-74 (2011)
- Yang, N., Liu, C., Liu, X., Degn, T. K., Munchow, M., & Fisk, I "Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defects" *Food chemistry*, v. 211, 206-214. (2016).



DIRECTORIO DE INSTITUCIONES PARTICIPANTES

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Víctor Manuel Villalobos Arámbula
Secretario
Víctor Suárez Carrera
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria
Arturo Macosay Córdova
Coordinador General de Ganadería
Salvador Fernández Rivera
Coordinador General de Desarrollo Rural
Andres Sigman Rhee García Cruz
Representante de la SADER en Tabasco

Gobierno del estado de Tabasco

Carlos Manuel Merino Campos
Gobernador Constitucional
Jorge Suárez Vela
Secretario de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca
Egla Cornelio Landero
Secretaria de Educación

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Luis Angel Rodríguez Del Bosque
Director General
Alfredo Zamarripa Colmenero
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación
Luis Ortega Reyes
Coordinador de Planeación y Desarrollo
José Humberto Corona Mercado
Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Regional del Golfo Centro

Jorge Martínez Herrera
Director Regional
Sergio Uribe Gomez
Director de Investigación
Francisco González Naranjo
Director de Administración
Carolina Hernández Hernández
Directora de Coordinación y Vinculación en Tabasco

Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Tabasco

Lily Lara Romero
Directora General
Norma Lucía Reyes Zapata
Directora De Vinculación Investigación y Desarrollo
Gerardo Humberto Arevalo Reyes
Director de Formación de Recursos y Apoyo a Investigadores



Fundación Produce Tabasco, A. C.

Heberto Ramón Cabrera Jasso
Presidente
Carlos Mario Cornelio Arce
Gerente

**Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas
Campus Tabasco**

César Jesús Vázquez Navarrete
Director
Mepivoseth Castelan Estrada
Subdirector de Educación
Luz Del Carmen Lagunes Espinoza
Subdirector de Investigación
Hilario Becerril Hernandez
Subdirector de Vinculación

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Guillermo Narvaez Osorio
Rector
Dora María Frías Márquez
Secretaría de Servicios Académicos
Wilfrido Miguel Contreras Sánchez
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación
Jorge Membreño Juárez
Secretario de Servicios Administrativos
Miguel Armando Vélez Tellez
Secretario De Finanzas

División Académica de Ciencias Agropecuarias

Roberto Antonio Cantú Garza
Director
Jose Javier Huijara Vasconcelos
Coordinador de Investigación y Posgrado
Pedro Víctor Obrador Olan
Coordinador de Docencia

División Académica De Ciencias Biológicas

Arturo Garrido Mora
Director
Ana Rosa Rodríguez Luna
Coordinadora de Investigación y Posgrado
Araceli G. Pérez Gómez
Coordinadora de Docencia

Universidad Tecnológica de Tabasco

Lenin Martínez Pérez
Rector
Sergio Octavio Valle Mijangos
Secretario Académico



Ricardo Amado Moheno Barrueta
Secretario De Vinculación

Universidad Popular de la Chontalpa

Antonio Enrique Del Angel Flores
Rector
Petrona Gómez Rivera
Secretaria Académica

Instituto Tecnológico de Villahermosa

Angel Francisco Velasco Muñoz
Director
Brissa Roxana De León De Los Santos
Subdirectora Académica
Fátima Del Socorro Peña Medina
Subdirector de Planeación y Vinculación

Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca

Lorenzo Chacón Pérez
Director
Beatriz Torres Martínez
Subdirector de Planeación y Vinculación
Ezequiel Gómez Domínguez
Subdirector Académico

El Colegio de la Frontera Sur

Unidad Villahermosa

Rodimiro Ramos Reyes
Coordinador
Ramiro Robles Jardón
Unidad de Gestión y Servicios Tecnológicos
María Luisa Martínez Gutiérrez
Coordinadora de Vinculación

Instituto Tecnológico Superior de Macuspana

Rafael Bojorges Güereña
Director
Manuel Priego Herrera
Subdirector de Planeación
Jorge Santamaría Narvaez
Subdirector de Vinculación



COMITÉ CIENTÍFICO Y ÁRBITROS

Dr. Jorge Martínez Herrera
Dra. Carolina Hernández Hernández
Dr. Eder Ramos Hernández
Dr. Alfonso Azpeitia Morales
Dr. Eduardo Daniel Bolaños Aguilar
Dra. Erika Belem Castillo Linares
M.C. Felipe Mirafuentes Hernández
Dr. Jorge Oliva Hernández
Dr. Jorge Quiroz Valiente
M.C. José Alfredo Jimenez Chong
M.C. José Miguel Hernández Cruz
M.C. Manuel Barrón Arredondo
M.C. Mario Rodríguez Cuevas
M.C. Miguel Angel Ramírez Guillermo
M.C. Pablo Ulises Hernández Lara
Ing. Sabel Barrón Freyre
M. C. Lorenzo Granados Zurita
M.C. Roberto Omar Castañeda Arriola
M.C. Marcos Ventura Vázquez Hernández
Dr. Juan Carlos Tamarit Urías
Dr. José Amador Honorato Salazar
Dr. Luis Jorge Corzo Ríos
Dr. Said Cadena Villegas
Dra. Marivel Domínguez Domínguez
Ph.D. Julián Pérez Flores
Dr. Saúl Sánchez Soto
Dr. Sergio Salgado García
Dr. Roberto De La Rosa Santamaría
Dra. Rocío Guadalupe Acosta Pech
Dr. Angel Galmiche Tejeda
Dr. Lorenzo Armando Aceves Navarro
Dra. Luz Del Carmen Lagunes Espinoza
Dr. Luis Manuel Vargas Villamil
Dr. Pedro Antonio Moscoso Ramírez
Dr. José Jesús Obrador Olán
Dr. Emilio Manuel Aranda Ibañez
Dr. Joaquin Alberto Rincón Ramírez
Dr. Apolonio Valdez Balero
Dr. Hilario Becerril Hernández
Dr. José Francisco Juárez López
Dra. Nydia Del Rivero Bautista
Dr. Jesús Alberto Ramos Juárez
Dr. Carlos Fredy Ortiz García
Dr. Rodolfo Osorio Osorio
Dr. Jose Javier Hujara Vasconcelos
M.C. Ulises López Noverola
Dra. Eloisa López Hernández
Ph. D. Julio Cámara Córdova
Dr. Jose Armando León Najera
Dra. Salome Gayosso Rodríguez

Dra. Claudia Virginia Zaragoza Vera
Dr. Eliut Santamaría Mayo
Dr. Carlos Luna Palomera
Dra. Nancy Patricia Brito Manzano
Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores
Dr. Maximiliano Antonio Estrada Botello
Dr. César Marquez Quiroz
Dr. Efrain De La Cruz Lázaro
Dra. Laura Mercedes Lagunes Galvez
Dra. Edith Miranda Cruz
Dr. Alfonso Sala Pavón
Dra. Nadia Florencia Ojeda Robertos
Dr. Osvaldo M. Torres Chablé
Dr. Fernando Víctor Iriarte Rodriguez
Dr. Adalberto Galindo Alcántara
Dr. Rafael Martínez García
Dr. Miguel Angel Palomeque De La Cruz
Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro
Dra. Claudia Villanueva García
M. C. Carlos Mario Carreta Belueta
Ing. Martha Patricia Ávila Vargas
M.D.C.D Ismael Valencia Hernández
M.C. Isabelino Pérez Jiménez
M.C. Eduardo Lleverino González
Dra. Lila Fraire Sierra
M.C. Héctor Sandoval Villa
Dra. Silvia Del Carmen Ruiz Acosta
M. C. Agrícola Arrieta Rivera
M.C. Héctor Andrade Prado
Dra. Patricia De La Cruz Burelo
M.C. Roberto Gutiérrez Burón
Dr. Miguel Angel Velázquez Carmona
Dr. Antonio Córdova Avalos
Dr. Ignacio López Cerino
Dra. Cintya Valerio Cárdenas
Dr. Juan Manuel Urrieta Saltijeral
Dra. Rosa Margarita Hernández Vélez
Dra. Kristal De María Jesús De La Cruz
M.C. Maricela Pablo Pérez
M.C. Lorena Vázquez Hernández
M.C. Raquel Jiménez Ramírez
Dr. Ricardo Amado Moheño Barrueta
Dr. Juan Javier Castillo Ramiro
M.C. Gustavo Malagón Marín
M.C. Norma Del Carmen Hernández Rivera
Dr. Rodimiro Ramos Reyes
Dr. Aaron Jarquín Sánchez

SEMBLANZA DE LOS COMPILADORES



Ph.D. Jorge Martínez Herrera.

Licenciado en Química Industrial (Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana), Maestro y Doctor en Ciencias de los Alimentos (Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional), Estancia Posdoctoral en el Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana. Fue Director de Coordinación y Vinculación del INIFAP Unidad Tabasco y actualmente se desempeña como Director Regional del Centro de Investigación Golfo Centro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ha desempeñado labores de Administración e Investigación en el Programa de Biocombustibles, como *Jatropha curcas* o piñón mexicano, en la línea Biodiesel, Alimentos, Aprovechamiento Agroindustrial, Proteínas, Factores No Nutricionales. Cuenta con más de 25 trabajos internacionales, ha impartido conferencias magistrales dentro y fuera del país y ha realizado estancias de investigación en el Departamento de Nutrición Animal y Acuicultura de la Universidad de Hohenheim (Stuttgart, Alemania).



Dra. Carolina Hernandez Hernandez.

Carolina Hernández Hernández, investigadora del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, actualmente adscrita al C.E. Huimanguillo, con diez años de experiencia en investigación en el cultivo de cacao durante los cuales he participado en diversos proyectos relacionados con el manejo poscosecha y calidad del grano, de los cuales se han derivado diversas publicaciones como folletos para productores, catálogos, memorias de eventos científicos y artículos científicos. También con experiencia en el manejo poscosecha de frutos tropicales. Recientemente obtuvo el doctorado en ciencias en el programa de Ingeniería agraria, alimentaria, forestal y del desarrollo rural sostenible por la Universidad de Sevilla (España), con el tema “Análisis de la composición química del cacao, extracción y estudio de compuestos antioxidantes en genotipos del banco de germoplasma de México”, durante el cual los aportes más relevantes han sido el desarrollo de nuevas técnicas para el análisis de la composición química del cacao como lo es la espectroscopía de infrarrojo cercano, así como la obtención a partir de la cascarilla del cacao de un ingrediente con propiedades bioactivas y su aplicación en el desarrollo de un alimento funcional. Actualmente se desempeña como Directora de Coordinación y Vinculación del INIFAP en su Unidad del Estado de Tabasco.

inifap



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL