

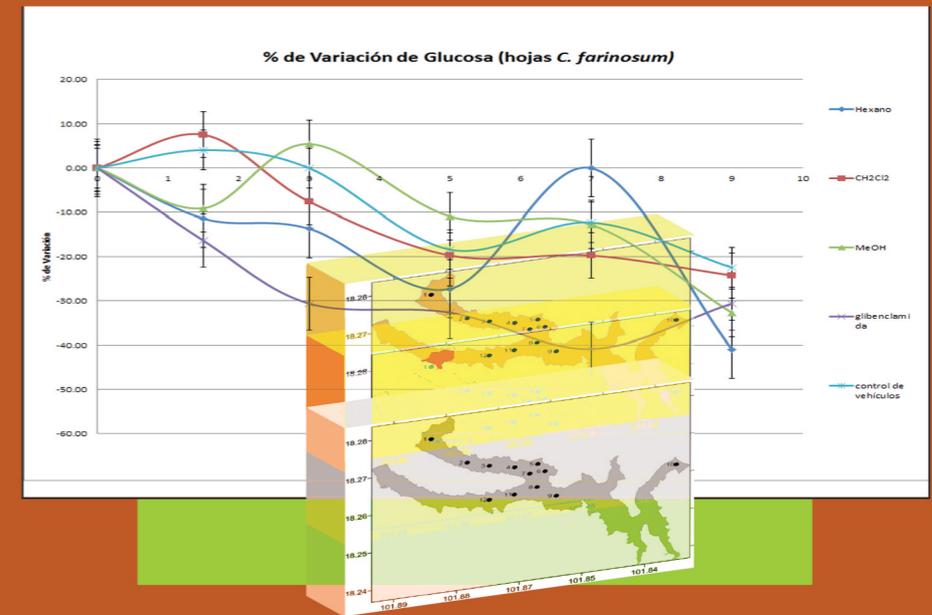
Este libro es el segundo de una serie de dos y está dedicado a los avances en *Química, Biología y Agronomía*; se trata de conocimiento aplicado a casos del interés de investigadores de varias generaciones e instituciones. Aquí se reúnen aportaciones particulares: que por su vocación agronómica, son caros a la institución anfitriona de un encuentro universitario sobre estos temas y otros como *Matemáticas, Economía y Ciencias Sociales*: la Universidad Autónoma Chapingo.

El objetivo final de este libro es el mismo: incorporar cada vez más bibliografía que enriquezca y diversifique las opciones de consulta por parte de interesados en aspectos particulares y, desde luego, divulgar nuevos conocimientos y ofrecer los resultados del quehacer universitario.



INVESTIGACIÓN en QUÍMICA, BIOLOGÍA y AGRONOMÍA

INVESTIGACIÓN en QUÍMICA, BIOLOGÍA y AGRONOMÍA



(Compilación y edición)

Francisco Pérez Soto | Esther Figueroa Hernández
Lucila Godínez Montoya | Rosa María García Núñez
Daniel Sepúlveda Jiménez | David Martín Santos Melgoza

| UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO |

**INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA, BIOLOGÍA Y
AGRONOMÍA**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Dr. Alberto Villaseñor Perea
Rector

Dr. Ramón Valdivia Alcalá
Director General Académico

Dr. J. Reyes Altamirano Cárdenas
Director General de Investigación y de Posgrado

M.C. Raúl Reyes Bustos
Director General de Difusión Cultural y de Servicio

Ing. J. Guadalupe Gaytán Ruelas
Director General de Administración

M.C. Domingo Montalvo Hernández
Director General de Patronato Universitario

Dr. Francisco Pérez Soto
Coordinador del CIEMA

Francisco Pérez Soto
Esther Figueroa Hernández
Lucila Godínez Montoya
Rosa María García Núñez
Daniel Sepúlveda Jiménez
David Martín Santos Melgoza
(Compilación y Edición)

INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA, BIOLOGÍA Y AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Francisco Pérez Soto
Esther Figueroa Hernández
Lucila Godínez Montoya
Rosa María García Núñez
Daniel Sepúlveda Jiménez
David Martín Santos Melgoza
(Compiladores y Editores)

LinkVerde

Diseño editorial y portada

Primera edición, marzo de 2014
ISBN 978-607-12-0343-4
D.R. © Universidad Autónoma Chapingo
Km. 38.5 Carretera México-Texcoco
C.P. 56230, Chapingo, estado de México

Impreso en México

ÍNDICE

COMPOSICIÓN DE ESTERES METÁLICOS DEL BIODIESEL OBTENIDO DE SEMILLA DE FLAMBOYAN (<i>Delonix regia</i>) <i>Aldo de la Cruz Benítez, Benito Reyes Trejo, Diana Guerra Ramírez y Priscila Guerra Ramírez</i>	1
CAMBIOS FISCOQUÍMICOS EN LA VISCOSIDAD Y DENSIDAD DE LAS MEZCLAS DE DIESEL Y BIODIESEL OBTENIDO DEL ACEITE DE SEMILLAS DE <i>Jatropha curcas</i> COLECTADAS EN EL TOTONACAPAN, PUEBLA <i>Benito Reyes Trejo, Diana Guerra Ramírez, Holber Zuleta Prada, Laura Pamela Ruiz Ponce, Daniel Eduardo Velázquez Cortés, Jesús Axayácatl Cuevas Sánchez y Lino Joel Reyes</i>	7
ALGUNAS PROPIEDADES DEL BIODIESEL OBTENIDO DEL ACEITE DE <i>Jatropha curcas</i> L. Y DE SUS MEZCLAS CON DIESEL <i>Diana Guerra Ramírez, Benito Reyes Trejo, Laura Pamela Ruiz Ponce, Daniel Eduardo Velázquez Cortés y Jesús Axayácatl Cuevas Sánchez</i>	14
ANÁLISIS FITOQUÍMICO BIODIRIGIDO DE LA ACTIVIDAD HIPOGLUCEMIANTE DE <i>Combretum farinosum</i> EN RATAS <i>Benito Reyes Trejo, Mario Torres Solano, Erick Alberto Tenorio Jiménez, Diana Guerra Ramírez, Holber Zuleta Prada, Aldo De la Cruz Benítez y Priscila Guerra Ramírez</i>	20
AISLAMIENTO Y PURIFICACION DE CICLOPÉPTIDOS PRESENTES EN SEMILLAS <i>Jatropha curcas</i> DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA <i>Benito Reyes Trejo, Diana Guerra Ramírez, Laura Pamela Ruiz Ponce, Holber Zuleta Prada, Jesús Axayácatl Cuevas Sánchez y Lino Joel Reyes</i>	30

PREPARACIÓN DE N-(2-BROMOBENCIL)-N-(2-(FENILSULFINIL)VINIL) ACETAMIDAS COMO PRECURSORES HACIA LA SÍNTESIS DE 1,2-DIHIIDROISOQUINOLINAS <i>Holber Zuleta Prada y Benito Reyes Trejo</i>	36
CALIDAD E INOCUIDAD PARA EL CULTIVO DE TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>) EN EL EMBALSE “EL INFIERNILLO” EN EL ESTADO DE MICHOACAN <i>Brianda Leticia Ibarra Valdez, Miguel Ángel Sánchez Rodríguez y Omar Calvario Martínez</i>	58
RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE AREA FOLIAR, BIOMASA Y RENDIMIENTO DEL GARBANZO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE HILERAS Y NITRÓGENO <i>Maricela Apéaz Barrios, José Alberto Salvador Escalante Estrada, María Teresa Rodríguez González y Patricio Apéaz Barrios</i>	73
ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GIRASOL EN RELACIÓN AL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN <i>Yasmani Rafael Arenas Julio, José Alberto Salvador Escalante Estrada, Carlos Alberto Ortiz Solorio, Victor Hugo Volke Haller y Edgar Jesús Morales Rosales</i>	80
LA PRODUCCIÓN DE HUITLACOQUE (<i>Ustilagomaydis</i> Cda.) COMO ALTERNATIVA A LA DEL MAÍZ ELOTERO EN RIOVERDE, S. L. P. <i>José Cruz Salazar Torres, Karen Elizabeth Núñez Solano y Rogelio Álvarez Hernández</i>	92
ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN MAÍZ EN FUNCIÓN DEL NITRÓGENO EN SIEMBRA TEMPRANA Y CLIMA CÁLIDO <i>Cid Aguilar Carpio, José Alberto Salvador Escalante Estrada e Immer Aguilar Mariscal</i>	100
ARREGLO TOPOLOGÍCO, NITRÓGENO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN LA ASOCIACIÓN FRIJOL CHINO-MAÍZ <i>Patricio Apéaz Barrios, José Alberto Salvador Escalante Estrada, María Teresa Rodríguez González y Maricela Apéaz Barrios</i>	106
ESTUDIO FITOPATOLÓGICO DEL TOMATE VERDE (<i>Physalis ixocarpa</i>) EN LOS MUNICIPIOS DE ATLAUTLA Y TEPETLIXPA, EDOMEX. <i>Ma. Irene Emma Sandoval Martínez, Verna Gricel Pat Fernández e Ignacio Caamal Cauich</i>	116
ADAPTACIÓN DEL HIBRIDO DE PAPAYA (<i>Carica papaya</i> L.) “MSXJ” A DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES DE MÉXICO <i>Felipe Mirafuentes Hernández, Felipe Santamaría Basulto, Alfonso Azpeitia Morales y Héctor Romulo Rico Ponce</i>	127

EVALUACIÓN DE TRAMPAS Y ATRAYENTES PARA EL MONITOREO DE (<i>Rhagoletis pomonella</i> Walsh). EN TEJOCOTE EN CHAPINGO, MÉXICO <i>Francisca Hernández Epigmenio, Victor Manuel Pinto y Edgar Humberto Nieto López</i>	133
TERMOTERAPIA Y PRIMING EN SEMILLA DE TOMATE DE CÁSCARA PARA ELIMINAR VIRUS Y MANTENER SU CALIDAD FISIOLÓGICA <i>José Marín Sánchez, Pablo Delgado Sánchez, Rapucel Tonantzin Quetzalli Heinz Castro, Federico Villarreal Guerrero y Ovidio Díaz Gómez</i>	142
SÍNTESIS HISTÓRICA DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE MAÍZ PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO <i>Mauro Sierra Macías, Flavio Rodríguez Montalvo, Artemio Palafox Caballero, Noel Gómez Montiel y Alejandro Espinosa Calderón</i>	155
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE MAÍCES NATIVOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO <i>Mauro Sierra Macías, Pablo Andrés Meza, Artemio Palafox Caballero, Isaac Meneses Márquez, Néstor Francisco Nicolás, Andrés Zambada Martínez, Flavio Rodríguez Montalvo, Alejandro Espinosa Calderón y Margarita Tadeo Robledo</i>	166

Presentación

Este libro es el segundo de una serie de dos y está dedicado a los avances en *Química, Biología y Agronomía*; al igual que el libro que recopila *Matemáticas, Economía y Ciencias Sociales*, este incluye conocimiento aplicado a casos del interés de investigadores de varias generaciones, pertenecientes a las instituciones que acudieron a un encuentro universitario que sobre todos los temas ya citados, se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo. En el presente se reúnen aportaciones particulares. Es decir, se decidió dedicarle un libro específico a los temas y a quienes aportaron en ellos y que por su vocación agronómica, son caros a la institución anfitriona, la UACH.

Se trata aquí, por ejemplo, lo relativo a las mezclas de diesel y biodiesel obtenido a partir del aceite de semillas de *jatropha curcas*, entre otros temas de ese *combustible verde*; es decir algo que está al día en cuanto a las búsqueda de fuentes de energía limpias; otro tema ampliamente tratado es el del nitrógeno como elemento de fertilización -que junto con la densidad poblacional de las plantas- buscan prácticas agronómicas para obtener mayores rendimientos. El objetivo final de este libro es el mismo: incorporar cada vez más bibliografía que enriquezca las opciones de consulta por parte de interesados en aspectos particulares y, desde luego, divulgar nuevos conocimientos y ofrecer los resultados del quehacer universitario.



Aldo de la Cruz Benítez¹, Benito Reyes Trejo¹,
Diana Guerra Ramírez y Priscila Guerra Ramírez¹

COMPOSICIÓN DE ESTERES METÁLICOS DEL BIODIESEL OBTENIDO DE SEMILLA DE FLAMBOYAN (*Delonix regia*)

I. Introducción

El biodiesel es un combustible producido a partir de materias renovables como los aceites vegetales, que están compuestos por triglicéridos, que son triésteres de glicerina y ácidos grasos. El biodiesel se obtiene mediante un proceso químico llamado transesterificación, en el cual los aceites orgánicos son combinados con alcohol y alterados químicamente para formar un éster etílico o metílico, el cual recibe finalmente el nombre de biodiesel (Sharma *et al.*; 2008).

El biodiesel se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency – EPA –EEUU). Puede usarse como una base de mezcla para el diesel de petróleo en varias proporciones por ejemplo 95:5 (B95), 90:10 (B10) y 70:30 (B70) entre otras, o en proporción muy bajas como aditivo del 1 al 5 %. De esta forma el biodiesel se complementa, no compite con el petróleo (Bajpai *et al.*, 2006).

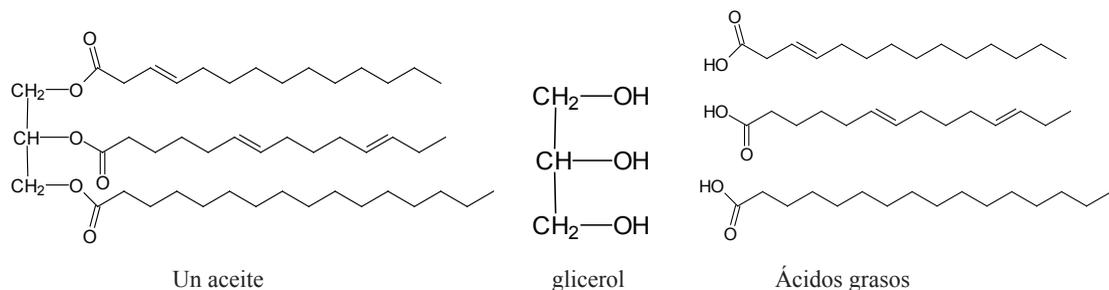
El biodiesel se dice, es un tipo de energía verde que tiene la significación estratégica del desarrollo sostenible y sustentable. Siendo el biocombustible el mejor sustituto del diesel derivado del petróleo, ya que este por ser de origen vegetal, tiene un menor impacto ambiental, desarrollo económico en la agricultura, entre otros.

¹Lab de Prod. Naturales, Área de Química, Depto. de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, aldodlcb@hotmail.com



Los aceites comestibles se obtienen principalmente de las anonáceas. Las anonáceas constituyen una familia muy grande de plantas de aproximadamente 130 géneros y 2300 especies, químicamente son poco conocidas de la familia de las plantas tropicales, por lo que sus estudios químicos se han incrementado recientemente. (Ghadge, S.V.; Reaman. H.2006). Los aceites de oleaginosas son ésteres de los ácidos grasos y el glicerol (Figura 1).

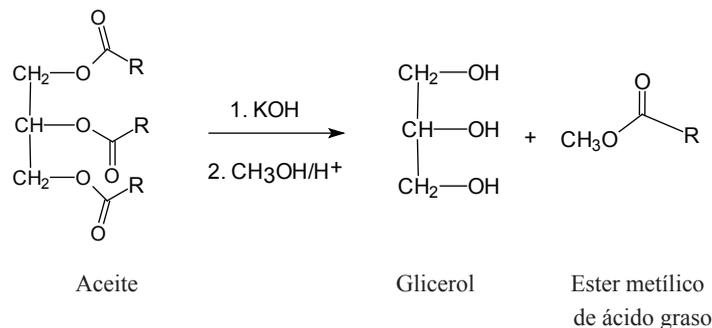
Figura 1. Estructura de un aceite, el glicerol y algunos ácidos grasos



Transformación de aceites en biocombustible

Con una cantidad suficiente de aceite es factible su transformación en biocombustible, que específicamente es una reacción de transesterificación con metanol. Previo tratamiento con hidróxido de potasio (Figura 2).

Figura 2. Reacción de transesterificación de aceite para obtener biodiesel



El proyecto tiene como objetivo principal realizar la transformación de los aceites de semilla Delonix regia a biocombustible, primero se extrae el aceite de la semilla de falmboyan y posteriormente se realiza la filtración y determinación del índice de acidez del aceite para proceder a la transformación mediante transesterificación. Una vez obtenido el biodiesel se analiza el contenido de ácidos grasos del biocombustible. (Norma ASTM D6751), además se determina el calor de combustión del biocombustible obtenido (Norma ASTM D6751). Adema es importante mencionar que en el tema de

bioenergéticos, según Saval (2012) actualmente existen el marco regulatorio a nivel federal para la producción de bioetanol y biodiesel, está conformado por la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (2008) y su Reglamento (2009), el Acuerdo por el que se emiten los Lineamientos para el otorgamiento de permisos para la producción, el almacenamiento, el transporte y la comercialización de bioenergéticos del tipo etanol anhidro y biodiesel (2009), el Acuerdo por el que se emiten los formatos de solicitudes de permisos para la producción, el almacenamiento, el transporte y la comercialización de bioenergéticos del tipo etanol anhidro y biodiesel (2009), por lo que este proyecto realza su importancia para su desarrollo ya que busca producir biocombustibles amigables con el ambiente (Toscano *et al.*, 2011)

II. Materiales y Métodos

Material vegetal

Se extrajeron las semillas de las vainas cortadas de árboles de flamboyán, también conocido como tabachín (*Delonix regia*), situados en San Pedro de los Naranjos de Salvatierra, Guanajuato, México, en el mes de febrero de 2011, las semillas se mantuvieron en almacenamiento a temperatura ambiente.

A un lote de 30 semillas elegidas aleatoriamente, se le determinaron características físicas: dimensiones (largo, ancho, y grosor) y se pesaron en balanza analítica Ohaus®. Se separó la cáscara de la almendra, posteriormente se molieron y utilizaron para la extracción del aceite, el cual se llevó a cabo por método de maceración

Extracción de aceite

Las semillas se lavaron y durante dos semanas se expusieron al aire libre para su secado. Para la extracción del aceite se molió la semilla en una licuadora, posteriormente se colocó el polvo en un matraz de bola y se le adicionaron 25 ml de hexano por cada 10 g de semilla, se dejó en maceración por dos días, después se decantó y filtró el hexano conteniendo el aceite, por último se evaporó el disolvente al vacío en un rotavapor, esta operación se repitió tres veces.

Características del aceite

Determinación de la densidad

Al aceite extraído se le determinó la densidad utilizando un picnómetro de 10 mL integrado por un termómetro de acuerdo con el método general de análisis MGA 0251D descrito en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM, 2008).

Determinación del grado de acidez libre

La presencia de ácidos grasos libres en cada aceite se determinó por titulación de una muestra de peso aproximado a 0.5 g de aceite, se le agregó 1 ml de etanol y 0.05 ml de fenolftaleína, se mantuvo en agitación vigorosa a 50°C y se tituló con una solución valorada de KOH 0.0083 N. La prueba se realizó por triplicado y se determinó la cantidad de mg de KOH que neutraliza a 0.5 g de aceite.

Obtención del biodiesel

Una muestra de 0.5 mL de aceite se mezcló con solución de H₂SO₄ al 2% en 5 mL de metanol y se mantuvo en reflujo durante 2:45 h. el punto final de esta reacción se determinó mediante una placa cromatográfica. Posteriormente el producto de reacción se transfirió a un embudo de separación y se mantuvo en reposo durante toda la noche. Se decantó la parte inferior que contenía glicerina y la fase superior del biocombustible se lavó con una disolución de acetato de etilo (tres veces) con 10 ml y después con agua caliente (60°C, 3 veces) con 10 ml, finalmente se secó con Na₂SO₄ anhidro y se filtró y midió su volumen (Adewale *et al.*, 2010).

Características del biodiesel

Composición química de los esteres metílicos

Se realizó por cromatografía de gases utilizando equipo Agilent 6890 integrado con una columna AT-Silar de 30 m x 0.25 mm x 0.25 mm, las temperaturas del horno de 170°C con una rampa de aumento de 10°C cada minuto hasta llegar a una temperatura final de 240°C. El gas portador fue hidrógeno con un flujo constante de 2.2 mL por minuto, el tiempo de adquisición de datos fue de 8 minutos. La técnica estandarizada en el equipo para controlar el sistema fue el de Esteres mesilar, se calculó la proporción de esteres metílicos en % de área.

III. Análisis y Discusión de Resultados

Caracterización física de las semillas

Las semillas de *Delonix regia* utilizadas presentaron como longitud, anchura y grosor promedio de 1.96 ± 0.11 , 0.61 ± 0.09 y 0.41 ± 0.09 cm respectivamente, así como un peso de 1.3471 ± 0.2018 g.

Extracción y caracterización del aceite

Se extrajo en promedio por cada 10 g de semilla de 0.53 ml de aceite utilizando hexano, lo cual representa un 5.3%. El promedio de la densidad del aceite de flamboyán fue de 0.9348 g/mL.

Acidez de los aceites y producción de biodiesel

La Tabla 1 muestra el índice de acidez del aceite extraído, así como el porcentaje de biodiesel obtenido después de someterlo a transesterificación. La obtención de los biocombustibles de aceites de oleaginosas se debe realizar a las muestras que arrojen valores de acidez pequeños menores a 2.0% (Tiwari *et al.*, 2007), se realizó la reacción a todas las muestras, ya que su acidez en promedio fue de 0.59%, solo se transformó un promedio de 36.8%, lo que representa un bajo porcentaje de rendimiento de transesterificación del aceite a biodiesel, ya que mayor de 50% es aceptable (Sharma *et al.*, 2008), es necesario realizar la reacción por el método básico (NaOH) para comparar rendimiento.

Composición química del biodiesel

La determinación del tipo de esteres metílicos contenidos en el biocombustible obtenido por transesterificación con metanol y H₂SO₄ al 2% se muestran en la Tabla 2. La calidad del biocombustible

obtenido es muy baja, ya que contiene el 18.64 % de esteres metílicos de ácidos grasos insaturados (oleato y linoleato) y alta proporción de esteres metílicos de ácidos grasos saturados equivalente al 81.36 % (palmitato y estereato), lo que explica que después de 2 horas de terminada la transesterificación, el producto obtenido presentó solidificación, por lo que esta propiedad confiere al biodiesel un mal desempeño a bajas temperaturas (Sharma *et al.*, 2008). Por otra parte los resultados obtenidos en el presente estudio en cuanto al porcentaje de contenido de esteres metílicos de ácidos grasos saturados (81.36%) e insaturados (18.64%) muestra una diferencias significativas al compararlos con los valores reportados por Adewale *et al.*, (2010), donde las semillas de *D. regia* recolectadas en el Estado de Oyo, Nigeria, contienen 30.4% de ácidos grasos saturado y 69.6% insaturados, siendo el linoleato el de mayor presencia (58.7%), mientras que en las semillas recolectadas en México el estereato es el de mayor con 60.8333%, esto confirma que el contenido de ácidos grasos totales de la misma especie a partir de semillas recolectada en diferentes zonas edafoclimáticas y épocas de corte varía significativamente por lo que es necesario realizar estudios del contenido de aceite de las semillas de *D. regia* en diferentes temporadas del año.

Cuadro 1. Índice de acidez de los aceites extraídos y rendimiento de producción de biodiesel

Muestra	Índice de acidez (g)	% de biodiesel en v/v
1	0.58	36.5
2	0.57	39.0
3	0.62	35.5
Promedio	0.59	36.8

Cuadro 2. Composición química del biodiesel obtenido de aceite de semillas de *Delonix regia*

Ester metílico	Estructura	Tiempo de retención	Composición (%)	Composición (%) Reportada*
Palmitato	16:0	3.073	20.527	13.1
Estereato	18:0	4.244	60.833	12.1
Oleato	18:1 ^{Δ9}	4.291	8.109	9.3
Linoleato	18:2 ^{Δ9,12}	4.491	10.531	58.7
Saturados			81.36	30.4
Insaturados			18.64	69.6

*Adewale *et al.*, 2010.

IV. Conclusiones

Se obtuvo 5.3 % de aceite de semilla de *D. regia*, con una densidad= 0.9348 g/mL y un índice de acidez de 0.59%. La transesterificación se llevó a cabo con un 36.8% de rendimiento, obteniendo biodiesel con un alto contenido de esteres de tipo palmitoleato (20.527 %), estearato (60.835%), oleato (8.109 %) y linoleato (10.531%). El contenido de ácidos grasos saturados es equivalente al 81.4%, esta propiedad confiere al biodiesel un bajo desempeño a bajas temperatura. Es necesario realizar muestreo de semillas en diferentes temporadas del año para estudiar el posible cambio en el % de aceite contenido en *D. regia*. Los resultados en los % de esteres metílicos obtenidos presentan diferencias significativas con los reportados por Adewale *et al.*, lo que sugiere seguir realizando estudios con semillas recolectadas en diferentes temporadas del año.

V. Referencias Bibliográficas

Adewale A.; Rotimi A. O.; Rao B.V.S.K.; Prasad R.B.N. and Anjaneyulu B. (2010) Chemical Component and Fatty acid Distribution of *Delonix regia* and *Peltophorum perocarpum* Seed Oils. Food Sci. Technol. Res., 16 (6), 565 – 570, 2010.

Bajpai, Divya; Tyagi, V. K. (2006) Biodiesel: source, production, composition, properties and its benefits. *J. Oleo Science*, **55**, 487-502.

Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (2008) Volumen I. 9ª. 291-292.

Ghadge, S.V.; Reaman. H. (2006). Process optimization for biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil using response surface methodology. *Bioresource Technology*, **97**, 379-384.

Kaul, S.; Saxena, R. C.; Kumar, A.; Negi, M. S.; Bhatnagar, A. K.; Goyal, H. B.; Gupta, A. K. (2007). Corrosion behavior of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts. *Fuel Processing Technology* **88**, 303-307.

Sharma Y.C.A.; Singh B.; Upadhyay S.N. (2008) Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *Fuel*: 2355–2373.

Tiwari, A.K.; Kumar, A.; Reaman, H. (2007) Biodiesel production from *Jatropha* oil (*Jatropha curcas*) whit high free fatty acids: An optimized process. *Biomass and Bioenergy*, 31:569-575.

Toscano, L.; Montero, G.; Stoytcheva, M.; Campbell, H.; Lambert, A. (2011) Preliminary assessment of biodiesel generation from meat industry residues in Baja California, México. *Biomass and Bioenergy*. 35, 26-31.

Saval, Susana. 2012 Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *BioTecnología*. Vol. 16 No. 2.

Benito Reyes Trejo¹; Diana Guerra Ramírez¹; Holber Zuleta Prada¹;
Laura Pamela Ruiz Ponce; Velázquez Cortes Daniel Eduardo;
Jesús Axayácatl Cuevas Sánchez² y Lino Joel Reyes³

CAMBIOS FISICOQUÍMICOS EN LA VISCOSIDAD Y DENSIDAD DE LAS MEZCLAS DE DIESEL Y BIODIESEL OBTENIDO DEL ACEITE DE SEMILLAS DE *Jatropha curcas* COLECTADAS EN EL TOTONACAPAN, PUEBLA

I. Introducción

Dentro de los constituyentes de las plantas, existe un grupo especial de moléculas conocidas como aceites. Estos aceites son del tipo de los triglicéridos, o sea, del glicerol esterificado con ácidos grasos. Están contenidos principalmente en las semillas de oleaginosas como por ejemplo, maíz, trigo, cártamo y de soya entre otras. También se han localizado en otras fuentes como el aceite de la palma de coco y de higuera, estos aceites son susceptibles de ser transformados a biocombustibles. El biodiesel es un biocombustible afín con el medio ambiente, se prepara a partir de aceites que provienen de grasas vegetales y animales (Bajpai *et al.*, 2006; Toscano *et al.*, 2011). El diesel de origen petroquímico se mezcla con biocombustible en varias proporciones por ejemplo 95:5 (B95), 90:10 (B10), 70:30 (B70) y 50:50 (B50) entre otras. La razón de utilizar estas mezclas estriba en que el biodiesel puro, a bajas temperaturas (Desde 3°C o menos) genera fases sólido-blanquecinas por lo que taponarían los ductos de fluido combustible que viaja hacia el motor de combustión (Tat y Gerpen, 2000). Actualmente se llevan a cabo estudios sobre la síntesis y caracterización de biodiesel a partir de aceites no comestibles como el de semillas de *Jatropha curcas*, *Pongamia glabra* (Karanja), *Madhuca indica* (Mahua) y *Salvadora oleoides* (Pilu) en la India (Kaul *et al.*, 2007) y están siendo exploradas fuertemente (Shuit *et al.*, 2010). El objetivo de esta investigación es obtener el aceite de semillas de piñón de cerro (*Jatropha curcas*) estudiar sus propiedades fisicoquímicas y su transformación a biodiesel. Tanto el aceite como el biodiesel serán caracterizados por su densidad, viscosidad, índices de acidez.

¹Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química, Departamento de Preparatoria Agrícola, ²Banco de Germoplasma, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, ³Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química UNAM, Delegación Coyoacán D.F.

II. Material y Métodos

Material vegetal

Las semillas de *Jatropha curcas* L. (5000 g) fueron colectadas en el Totonacapan, Sierra Norte de Puebla en el periodo de cosecha julio-noviembre del 2012.

Extracción del aceite de las semillas

Método Soxhlet

Extracción de aceite de *Jatropha curcas* L. por equipo Soxhlet. Para la extracción del aceite de la almendra se tomaron 3 muestras de 35 g cada una, pesándolas en una balanza analítica y moliéndolas en una licuadora. Una vez molidas las muestras, se introdujeron dentro de unos cartuchos de papel filtro y se colocaron en la cámara de Soxhlet, montando previamente el equipo. La extracción se realizó durante 16 horas utilizándose como disolvente 200 mL de hexano. El extracto hexánico se secó con sulfato de sodio anhidro y se filtró. La evaporación del disolvente se efectuó utilizando un evaporador rotatorio. El volumen del aceite obtenido se midió en una probeta, obteniendo, fue de 57 mL por las tres muestras de almendra de *Jatropha curcas* L.

Método de Extracción por Maceración

Para la extracción del aceite de la almendra se utilizó 1000 g de muestra molida, la cual se colocó en un matraz Erlenmeyer con capacidad de 2 L, adicionando posteriormente 1 L de hexano, agitando ocasionalmente y dejando reposar por 3 días. Pasado el tiempo de reposo, se decantó el extracto hexánico del bagazo y se filtró para evaporar el disolvente en el evaporador rotatorio. Se efectuaron tres extracciones más, utilizándose el mismo disolvente recuperado del evaporador rotatorio. Se juntó las fracciones de aceite correspondiente a las tres extracciones y se midió el volumen en una probeta.

Determinación de Índice de acidez

A 1 g de muestra de aceite se le adiciono 2 ml de etanol y 0.1 ml de fenoltaleína se mantuvo en agitación vigorosa a 50°C y se tituló con una solución valorada de KOH 0.1N hasta que la muestra permanezca de color rosa durante 5 minutos. Se determinó la cantidad de mg de KOH que neutraliza al gramo de aceite y se estimó el cálculo para obtener el valor de índice de acidez usándose la siguiente ecuación:

$$\text{índice de acidez} = \frac{(\text{Normalidad KOH})(\text{PM KOH})(\text{Volumen gastado KOH})}{(\text{g muestra})}$$

Donde el índice de acidez se expresa en mg KOH/g de muestra.

Esta determinación se llevó a cabo por triplicado para las muestras de aceite por el método de maceración y Soxhlet.

Reacción de transesterificación

La reacción de transesterificación es una reacción orgánica de un éster y un alcohol para producir otro éster por medio del intercambio de grupo alcoxi. De esta forma, si un éster interacciona con un alcohol para sustituir su grupo alquilo por el del alcohol, se denomina alcoholólisis, si el éster reacciona con un ácido carboxílico para sustituir el grupo acilo por el ácido y el alquilo de dos esteres diferentes la reacción se conoce como interesterificación o transesterificación (Torossi, 2006). La reacción es reversible y requiere 1 mol de triglicérido y 3 moles de alcohol, sin embargo, se utiliza un exceso de alcohol para aumentar la producción del éster alquílico y permitir separar la glicerina de la fase de biodiesel (Ramos *et al.*, 2009).

Obtención del biodiesel a partir del aceite de *Jatropha curcas* L.

Para la obtención del biodiesel, la reacción de transesterificación se realizó con el aceite extraído de la almendra de *Jatropha curcas* L. por los métodos de Soxhlet y maceración. En un matraz bola de fondo plano se preparó una disolución de KOH (1 g) en metanol anhidro (100 mL), se calentó en agitación vigorosa hasta la disolución de la potasa, paso seguido se adicionaron 200 mL de aceite, se mantuvo bajo reflujo con agitación constante durante 60 minutos, el desarrollo de la reacción se siguió por cromatografía de capa delgada usando una mezcla de elusión Hexano: AcOEt:agua, en proporción 9:1:0.1 (v/v/v) es enfriada y transferida a un embudo de separación y se dejó reposar por 10 horas. La parte superior del biodiesel se lavó con dos porciones de 25 mL de disolución de ácido cítrico al 0.1% después con agua caliente a 60°C (2x50 mL).

Mezclas Diesel:Biodiesel

La preparación de las mezclas diesel: biodiesel, se llevó a cabo con biodiesel obtenido con aceite por maceración (57 ml) y con diesel petroquímico obtenido comercialmente. Las mezclas se prepararon en viales pequeños obteniendo una mezcla de 5 mL para cada una y se etiquetaron por tipo de mezcla para su identificación y posterior análisis, como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Cantidades mezcladas de diésel y biodiesel en el estudio de viscosidad y densidad con respecto a la temperatura

Mezcla	Proporciones Diesel: Biodiesel	Diesel (ml)	Biodiesel (ml)
B10 (m.90:10)	90:10	4.5	0.5
B20 (m.80:200)	80:20	4	1
B30 (m.70:30)	70:30	3.5	1.5
B40 (m.60:40)	60:40	3	2
B50 (m.50:50)	50:50	2.5	2.5

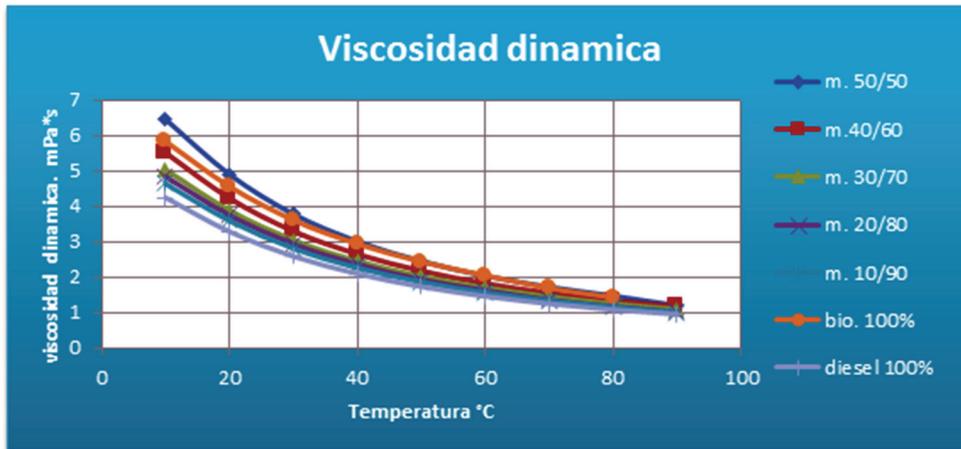
Determinación de viscosidad cinemática

La medición se realizó con un viscosímetro de rotación SVM Stabinger 3000 de la empresa Anton Paar, bajo los estándares de calidad ASTM D445 e ISO 3104, la cual está basada en una medición de torque y de revolución a través de un imán en rotación. Se utilizó una muestra no mayor a 3 mL, que fue inyectada y transportada a una celda de medición, la cual está equipada con un tubo en rotación con régimen constante. En la muestra, quedo flotando el rotor de medición (con el imán integrado), que por su baja densidad se centró por la fuerza centrífuga. El rotor al flotar libremente con la ausencia de fricción, permitió que la cantidad de muestra inyectada tuviera un cambio rápido de temperatura (Peltier). Al poco tiempo de iniciar la medición, el rotor alcanzó un régimen estable, que es determinado por el equilibrio entre el efecto de frenado de la corriente inducida y las fuerzas propulsoras de cizallamiento de la prueba. En el viscosímetro automáticamente, con el régimen del rotor se calculó la viscosidad dinámica y luego al hacerse una relación con la medición de la densidad, se estimó el valor de la viscosidad cinemática.

III. Análisis y Discusión de Resultados

La densidad y la viscosidad son dos importantes propiedades que son útiles para seleccionar combustibles, ya que valores altos de viscosidad demandan un mayor esfuerzo para mover al combustible al interior de la cámara de combustión, además de provocar una muy baja atomización en dicha cámara, así mismo un incremento en los valores de densidad implican la inyección de una mayor masa de combustible y por lo tanto la eficiencia del combustible es menor (Moradi *et al.*, 2013). El estudio los efectos de la temperatura del aceite de piñón, su biodiesel y diesel en la variación de la densidad y viscosidad fueron investigados, mismos que se muestran en las figuras 1, 2 y 3. Siendo el biodiesel de piñón ligeramente más viscoso (4.99 mm²/s) que el diesel (3.97 mm²/s) a 20 °C. Como se esperaba, una tendencia general que tanto los valores de viscosidad como los de densidad de estos fluidos, disminuyen al aumentar la temperatura, por ejemplo hasta los 80°C la densidad del biodiesel es 0.8657 g/mL, en tanto que la del diesel es 0.7853 g/mL cercano al valor descrito recientemente. Como bio-combustibles, no se estaría en la posibilidad de sustituir todo el diesel de nuestro planeta por biodiesel, motivo por el cual se están empleando mezclas de biodiesel y diesel para mover autotransportes y entonces ahora se estudian algunas propiedades fisicoquímicas para predecir el comportamiento de estas mezclas en los motores diesel. En este estudio se observa que al aumentar la cantidad de biodiesel en las mezclas (Diesel-Biodiesel) los valores de viscosidad también van incrementándose sin sobrepasar el valor del diesel, también se observa que al aumentar la temperatura de las mezclas, estos valores (densidad y viscosidad) también disminuyen (Figuras 1, 2 y 3).

Figura 1. Variación de la viscosidad dinámica con la temperatura de mezclas de biodiesel de semillas de piñón con diesel



En el estudio de las propiedades fisicoquímicas de mezclas de diésel y biodiesel, a 40 °C la viscosidad cinemática de la mezcla Diesel-Biodiesel (m.90:10) es 2.7617 mm²/s en tanto que a la misma temperatura la mezcla m.60:40 es 3.1688 mm²/s. Donde estas mismas mezclas a 80°C sus viscosidades son de 1.4615 y 1.6607 mm²/s, respectivamente.

Figura 2. Variación de la viscosidad cinemática con la temperatura de mezclas de biodiesel de semillas de piñón con diesel

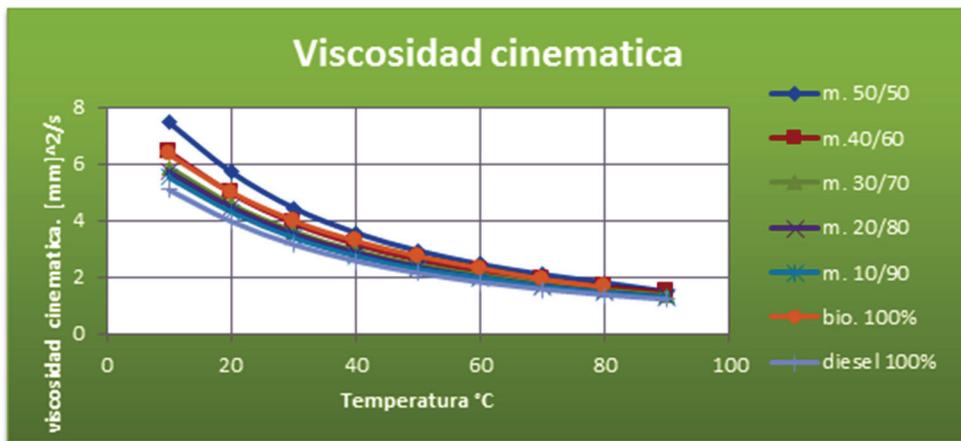
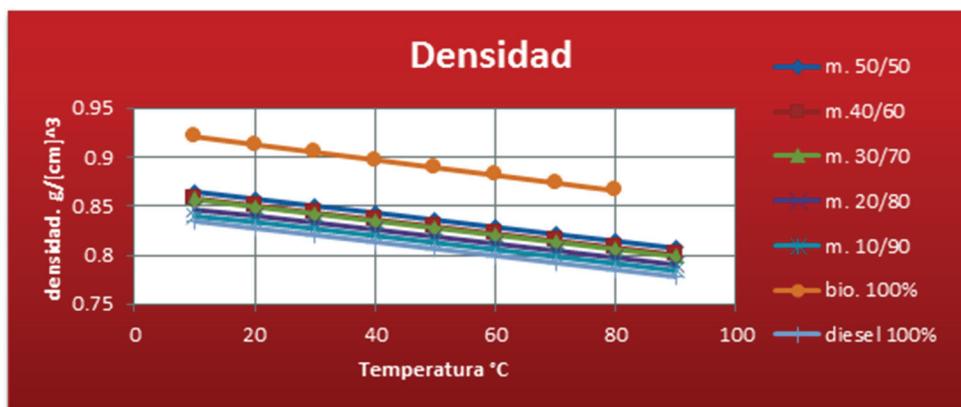


Figura 3. Variación de la densidad con la temperatura de mezclas de biodiesel de semillas de piñón con diesel



IV. Conclusiones

Las pruebas de calidad lograron establecer la caracterización evaluar el aceite obtenido, para comparar con los estándares establecidos, así como con trabajos de investigación anteriores. Los resultados obtenidos nos han permitido establecer comparaciones con el diesel petroquímico y cada una de las mezclas diesel: biodiesel que nos indiquen las características favorables de cada una de ellas y el ahorro de combustible químico que puede llevar el uso en bajas proporciones de biodiesel.

Se determinaron valores de viscosidad y densidad tanto al aceite como al biodiesel y diesel petroquímico. Los valores de viscosidad y densidad disminuyeron al aumentar la temperatura tanto en forma individual como en mezclas entre diesel y biodiesel. El diesel obtenido del piñón de cerro constituye una alternativa no viable para ser utilizado en motores de autotransportes. El desarrollo de este trabajo de investigación permite conocer el amplio panorama de especies nativas en México que pueden ser de uso para la producción de biocombustibles, como es la *Jatropha curcas* L. Por ello es necesario el impulso en trabajos de investigación que permitan conocer el potencial genético como especie para la producción de aceites y su transformación a biocombustibles.

V. Referencias Bibliográficas

Bajpai, Divya; Tyagi, V. K. (2006), Biodiesel: source, production, composition, properties and its benefits . J. Oleo Science, 55, 487-502

Kaul, S.; Saxena, R. C.; Kumar, A.; Negi, M. S.; Bhatnagar, A. K.; Goyal, H. B.; Gupta, A. K. (2007). Corrosion behaviour of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts. Fuel Processing Technology 88, 303-307



Moradi, G.R., Karami, B., Mohadesi, M. J. Chem. Eng. Data. 2013, 58: 99–105

Shuit, S.H.; Lee, K.T.; Kamaruddin, A.H.; Yusup, S. (2010) Reactive Extraction of *Jatropha curcas* L. Seed for Production of Biodiesel: Process Optimization Study. Environ. Sci. Technol., 44 (11), 4361–4367

Tat, M.E.; Gerpen, H.V. (2000) The specific Gravity of biodiesel and its blends with diesel fuel. JAOCS, 77, 115-119.

Toscano, L.; Montero, G.; Margarita Stoytcheva, M.; Campbell, H.; Lambert, A. (2011) Preliminary assessment of biodiesel generation from meat industry residues in Baja California, México. Biomass and Bioenergy. 35, 26-31.



Diana Guerra Ramírez; Benito ReyesTrejo; Laura Pamela Ruiz Ponce;
Daniel Eduardo Velázquez Cortés y Jesús Axayácatl Cuevas Sánchez

ALGUNAS PROPIEDADES DEL BIODIESEL OBTENIDO DEL ACEITE DE *Jatropha curcas* L. Y DE SUS MEZCLAS CON DIESEL

I. Introducción

Jatropha curcas L., pertenece a la familia Euphorbeaceae, es originaria de México y Centroamérica, crece en la mayoría de los países tropicales y se cultiva en América Central, Sudamérica, sureste de Asia, India y África (Schmook y Serralta-Peraza, 1997). De acuerdo con los lineamientos del “programa de producción sustentable de insumos para la producción de bioenergéticos y desarrollo científico y tecnológico”, *Jatropha curcas* L. y otras especies vegetales como la higuera (*Ricinus cummunis*) y la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) son considerados fuentes de energía renovable debido a que el aceite obtenido de estas especies es altamente recomendado para la obtención de biodiesel (Faupel y Kurki, 2002). En la actualidad el concepto del biodiesel se restringe a las mezclas de alquilésteres de ácidos grasos obtenidos a partir de lípidos renovables como aceites y grasas de orígenes vegetal o animal y es ampliamente reconocido como una alternativa en la industria de los combustibles (Ghobadian *et al.*, 2009).

Con respecto al diésel, el biodiesel presenta algunas ventajas: es biodegradable, emite 40% menos de sustancias tóxicas, lubrica las máquinas de combustión interna y tiene un punto de ignición muy alto por lo que su transporte y almacenamiento son más seguros (Ulusoy *et al.*, 2004). Por otro lado, el biodiesel tiende a deteriorar el empaque de hule, su uso en climas fríos es desfavorable porque tiende a solidificarse y el costo por galón es más alto debido a su baja disponibilidad (Demirbas, 2010).

Considerando que el biodiesel a bajas temperaturas (menores de 3°C) tiende a solidificarse, lo cual ocasiona taponamiento de los ductos de los motores (Sarin, *et al.*, 2009) se ha propuesto el uso de mezclas con diferentes proporciones de biodiesel-diesel por ejemplo una mezcla B10 contiene 10 % de biodiesel y 90 % de diesel, dichas mezclas favorecen el uso del biodiesel sobre todo en los lugares de clima frío. Como una contribución a los datos existentes en la literatura, en este trabajo se presentan los resultados de la obtención de biodiesel a partir de las semillas de *J. curcas* L. y los datos de densidad, viscosidad y calores de combustión del biodiesel y las mezclas biodiesel-diesel en relaciones volumétricas de B10, B20, B30, B40 y B50.

II. Materiales y Métodos

Material vegetal

Las semillas de *J. curcas* fueron colectadas en el mes de agosto de 2012 de uno de los árboles más antiguos que se conocen en el Municipio de Jonotla, Estado de Puebla”.

Contenido de aceite

Las semillas de *J. curcas* sin cascarilla y previamente molidas (50 g) se colocaron en cartuchos de papel filtro y fueron sometidas a una extracción exhaustiva (durante 16 horas) con hexano, utilizando un aparato Soxhlet. Transcurrido dicho tiempo la mezcla hexano/acetite fue evaporada al vacío. Una vez eliminado el hexano se midió la cantidad de aceite obtenido de cada una de las muestras y se determinó su peso. Los procesos de extracción y medición del aceite contenido en las semillas molidas se hicieron por triplicado.

Índice de acidez del aceite de *J. curcas*

La producción de biodiesel requiere de un aceite rico en triglicéridos de ácidos grasos insaturados, con un contenido bajo de ácidos grasos libres (\leq del 2%). La determinación de índice de acidez se llevo a cabo por triplicado tomando muestras de aproximadamente 1g de aceite y titulando con hidróxido de potasio 0.0097N, utilizando como indicador fenolftaleína. El índice de acidez se calcula cuantificando los miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar un gramo de aceite con base en ácido oleico.

Preparación de biodiesel

Las proporciones de cada componente de la mezcla de reacción fueron: metanol/aceite 0.25 y 0.7% de KOH, con base en la cantidad de aceite a ser transesterificado. La mezcla se agitó y calentó bajo reflujo a una temperatura de 60 °C durante 60 minutos. Transcurrido dicho tiempo se transfirió a un embudo de separación hasta observar la separación de dos fases consistentes en biodiesel y glicerina. El biodiesel fue tratado con ácido cítrico al 0.1% (dos lavados en proporción 1:1), después se lavó con agua caliente y finalmente se secó con sulfato de sodio anhidro.

Composición química del biodiesel

El porcentaje y tipo de esteres metílicos contenidos en el biodiesel se determinó por cromatografía de gases en un equipo de marca Agilet 6890, columna ATSilar 30 m de largo por 0.25 mm diámetro interno y 0.25 µm de espesor de película con detector de ionización de flama (FID). La temperatura inicial del horno fue de 170 °C (1 min), rampa 10 °C/min, temperatura final 240 °C. Temperatura del inyector y detector 260°C. Se utilizó hidrógeno, a una velocidad de flujo de 1.8 mL/min, como gas acarreador. Una mezcla de esteres metílicos de ácidos grasos se utilizó como estándar y los tiempos de retención se utilizaron para la detección los picos de las muestras, Los ácidos grasos fueron estimados como porcentaje del área total de los picos de ésteres metílicos.

Medición de la viscosidad y densidad

Las viscosidades cinemática, dinámica y la densidad del biodiesel y de cada una de las mezclas B10, B20, B30, B40 y B50 fueron medidas a presión atmosférica a 20 y 40° C en un Viscosímetro-densímetro Anton Parr rotacional Stabinger SVM 3000.

Determinación de los calores de combustión

La medición de los calores de combustión del biodiesel y las mezclas B10, B20, B30, B40 y B50 se llevaron a cabo en un calorímetro marca Anton Parr modelo 6 400, utilizando aproximadamente 1 g de muestra.

III. Análisis y Discusión de Resultados

Un parámetro importante para evaluar si un aceite vegetal es factible de ser transformado a biodiesel, es su índice de acidez, la cuantificación por triplicado de este parámetro para el aceite en estudio, dio como resultado un valor de índice de acidez de 1.7%, a diferencia de otro aceite de *J. curcas* obtenido a partir de las semillas procedentes de Tanzania cuyo índice de acidez fue de 8.14% (Kafuku y Mbarawa 2010). Un aceite con índice de acidez mayor al 2.0% tiene un alto contenido de ácidos grasos libres y por lo tanto una reacción de transesterificación catalizada con una base conducirá a la formación de jabones. Cuando se tienen estos casos es necesario esterificar previamente a los ácidos grasos libres con metanol en medio ácido y posteriormente transesterificar los triglicéridos. Este procedimiento consume tiempo y recursos y por lo tanto encarece el proceso de producción del biodiesel, de acuerdo con datos previos, los aceites de *Jatropha* obtenidos de semillas del estado de Puebla y con menos de un año de cosecha tienen índices de acidez apropiados para llevar a cabo la reacción de transesterificación sin necesidad de un tratamiento previo.

El perfil de ácidos grasos contenidos en una mezcla de ésteres metílicos influye en las propiedades físicas y químicas, un alto contenido de ácidos grasos insaturados podría propiciar la oxidación, mientras que los ácidos grasos saturados deben estar en proporciones bajas para evitar la solidificación del biodiesel, principalmente cuando se usa en lugares de clima frío.

En el cuadro I se observa que el biodiesel preparado a partir del aceite de las semillas de *J. curcas* provenientes del estado de Jonotla, contiene un 77.8% de esteres metílicos de ácidos grasos insaturados lo cual concuerda con los datos obtenidos con anterioridad con respecto a biodiesel obtenido de esta misma especie pero de otros municipios del Estado de Puebla cuyos porcentajes varían desde 77.14 a 79.83% (referencia del libro).

Cuadro 1. Esteres metílicos del biodiesel derivado de *Jatropha curcas* L.

Ester metílico	Procedencia de las semillas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Palmitato (C _{16:0})	13.15	13.07	15.10	13.34	14.83	14.57	15.6	14.2
Esterarato (C _{18:0})	6.93	7.26	7.74	6.96	5.82	7.30	9.70	6.90
Oleato (C _{16:1})	41.92	38.06	43.10	42.91	38.19	40.42	40.80	43.10
Linoleato (C _{16:2})	35.96	41.60	34.04	35.62	41.64	37.71	32.10	34.90
Otros	2.04	0.01	0.02	1.17		0	1.8	0.9

1-Jonotla, 2-Olintla, 3-Tenanpulco, 4-Tuzamapan, 5-Xochitlan, 6-Cuetazalan, 7-India, 8-Asia

Por otro lado, el biodiesel obtenido de *J. curcas* de la India presenta un alto contenido de ésteres metílicos de ácidos grasos saturados (25.3%) (Mohibbe, *et al.* 2005) contrastante con *J. curcas* de origen asiático cuya composición es muy semejante a la composición de las muestras de originarias de México (Sarin, *et al.*, 2007; Sarin, *et al.*, 2010). En la búsqueda de la composición ideal del biodiesel, se recomienda la presencia elevada de ácidos grasos monoinsaturado (como los ácidos oleico y palmitoleico), la presencia reducida de ácidos grasos poliinsaturados y un contenido controlado de ácidos grasos saturados. En este sentido, C18: 1 y C16: 1, son los ácidos que mejor se ajustan en términos de la estabilidad oxidativa y el comportamiento de clima frío, entre muchas otras propiedades. (Pinzi *et al.*, 2009).

En lo que respecta a los resultados obtenidos al medir algunas propiedades de biodiesel y mezclas biodiesel-diesel, en el Cuadro 2 se muestran los datos de las viscosidades cinemática, dinámica y de la densidad, así como los calores de combustión del biodiesel y de las mezclas B50, B40, B30, B20 y B10. La viscosidad cinemática es la resistencia al flujo de un fluido por la gravedad. La viscosidad es la propiedad más importante del biodiesel ya que afecta la operación del equipo de inyección del combustible, particularmente a bajas temperaturas, cuando se incrementa la viscosidad la fluidez del combustible se ve afectada, lo que tiene como consecuencia una atomización deficiente y por lo tanto a una operación menos exacta de los inyectores del combustible (Kafuku y Mbarawa, 2010). Una

temperatura baja incrementa la viscosidad debido a la cristalización de los ésteres metílicos, especialmente los saturados. En todas las mezclas de biodiesel-diesel se observa una disminución de la viscosidad al aumentar la proporción de diesel, sin embargo la mezcla B20 es la que tiene un cambio más notable, además cuando este parámetro se determina a 40°C, la viscosidad baja drásticamente de 4.46 mm²s⁻¹ a 20°C a 2.86 mm²s⁻¹ a 40°C. Esta disminución favorece el uso de la mezcla B20 ya que la viscosidad se acerca a la del diesel.

Cuadro 2. Propiedades medidas en biodiesel y diferentes mezclas biodiesel-diesel

Muestra	Propiedades			
	Viscosidad dinámica (mPa.s a 20°C/40°C)	Viscosidad cinemática (mm ² /s a 20°C/40°C)	Densidad (g/cm ³ a 20°C/40°C)	Calor de combustión kJ/kg
diesel	4.24/2.09/	3.97/2.58	0.827/0.813	45. 200
B100	5.83/2.93	4.99/3.27	0.9127/0.897	38. 275
B50	4.90/3.00	5.71/3.56	0.857/0.843	42. 000
B40	3.89/2.65	4.97/3.16	0.850/0.836	43. 003
B30	3.89/2.45	4.57/2.94	0.849/0.834	43. 563
B20	3.75/2.36	4.46/2.86	0.840/0.826	44. 292
B10	3.59/2.26	4.31/2.76	0.834/0.820	45. 030

Otro parámetro importante es la densidad que disminuye de manera importante desde B100 a cualquiera de las mezclas biodiesel-diesel, manteniéndose casi constante sin importar la proporción de biodiesel en la mezcla. Una de las desventajas del biodiesel con respecto al diesel es su calor de combustión que varía poco en las mezclas hasta B20 misma que se utiliza en el continente Europeo.

IV. Conclusiones

La calidad del aceite obtenido de las semillas de *J. curcas*, con respecto a su índice de acidez permitió la preparación del biodiesel sin necesidad de un tratamiento previo.

La composición de ésteres metílicos del biodiesel mostró un equilibrio óptimo entre el contenido de ácidos grasos insaturados y saturados lo cual favorece las propiedades de viscosidad y densidad y bajo nivel oxidativo.

Para el biodiesel y las mezclas biodiesel-diesel se midieron la densidad, dinámica y cinemática, así como sus respectivos calores de combustión siendo muy cercanos al valor del diesel puro cuando se trata de las mezclas B10 y B20.

V. Referencias Bibliográficas

Demirbas, A. (2010) Biodiesel impacts on compression ignition engine (CIE): Analysis of air pollution issues relating to exhaust emissions. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 27, 549–558.

Faupel, K. and Kurki, A. (2002) Biodiesel; a brief overview. *Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA)*, http://www.angelfire.com/ks3/go_diesel/files042803/biodiesel.pdf consultada en febrero 22 de 2012

Ghobadian, B. H. ; Rahimi, A.M. ; Nikbakht, G. ;Najafi and Yusaf, T.F. (2009). Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. *Renewable Energy* 34, 976–982.

Mohibbe, A. M.; Waris, A.; Nahar, N.M. (2005) Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. *Biomass and Bioenergy* 29, 293–302.

Pinzi, S.; Garcia, I. L.; Lopez-Gimenez, F. J., M. D.; Luque de Castro; Dorado, G. and Dorado, M. P. (2009). The Ideal Vegetable Oil-based Biodiesel Composition: A Review of Social, Economic and Technical Implications *Energy & Fuels*, 23, 2325–234.

Sarin, A. ; Arora, R.; Singh, N.P.; Sarin, R.; Sharma, M. ;Malhotra, R. K.; Kundu, K. (2009), Effect of blends of Palm-Jatropha-Pongamia biodiesels on cloud point and pour point. *Energy* 34, 2016–2021.

Sarin, A.; Arora, R.; Singh, N. P.; Sarin, R; Malhotra K.; Sarin, S. (2010) Blends of Biodiesels Synthesized from Non-edible and Edible Oils: Effectson the Cold Filter Plugging Point. *Energy Fuels*24, 1996–2001.

Sarin, R.; Sharma, M; Sinharay, S.; Malhotra, R.K. (2007) Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. *Fuel* 86, 1365–1371.

Schmook, B. y Serralta-Peraza, L. (1997) *J. curcas*: Distribution and Uses in the Yucatan Peninsula of Mexico. In G. M. Gübitz, M. Mittelbach, M. Trabi (Eds.). *Biofuels and industrial products from Jatropha curcas*. DBV Graz.

Ulusoy, Y.; Tekin, Y.; Cetinkaya, M. and Karaosmanoglu, F. (2004) The engine tests of biodiesel from used frying oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 26, 927–932

*Benito Reyes Trejo; Mario Torres Solano; Erick Alberto Tenorio Jiménez;
Diana Guerra Ramírez; Holber Zuleta Prada;
Aldo De la Cruz Benítez y Priscila Guerra Ramírez*

ANÁLISIS FITOQUÍMICO BIODIRIGIDO DE LA ACTIVIDAD HIPOGLUCEMIANTE DE *Combretum farinosum* EN RATAS

I. Introducción

La diabetes es una enfermedad crónica degenerativa, de mal pronóstico en México debido a factores sociales como heredofamiliares, la diabetes es un problema de salud en México ya que además de ser la segunda causa de muerte en México de acuerdo al INEGI, también es la principal causa del retiro prematuro, ceguera, así como fallas renales. Se estima que para el año 2025 cerca de 11.7 millones de Mexicanos sufran algún tipo de diabetes (Rull, 2005). Durante 2009, del total de egresos hospitalarios en México, 2.8% fue por diabetes, del cual el 44.9% es atendido por el IMSS así como por la Secretaría de Salud (36.2%) y el ISSSTE (12.3%) (INEGI, 2011). A pesar de que parte del costo para el tratamiento de la diabetes lo cubren las instituciones de salud, otra parte del tratamiento es solventado por las familias, el cual en el caso de la diabetes mellitus tipo 1 en niños representa un promedio del 40 al 50% del ingreso familiar, el cual es destinado a la compra de jeringas de insulina, glucómetros, tiras reactivas así como en la dieta de los pacientes (Carlos, 2011). En cuanto al sector salud el Instituto mexicano del seguro social (IMSS) gastó en 2010 un total de 452 millones de dólares, y 3 192 dólares por paciente (Rodríguez-Bolaños, 2010).

Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química, Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, benijovi@yahoo.com.mx

En cuanto a la mortalidad debido a la diabetes, de 2005 a 2009 aumentó de 64.54 a 72.18 por cada 100 mil personas. La entidad federativa que supera en casi 30 puntos la media nacional es el Distrito Federal, con tasas de 93.81 en 2005 y de 100.78 en 2009, seguida por Coahuila (86.59 en 2005 y 88.44 en 2009). Por el contrario, los estados que el menor número de defunciones por esta causa son Quintana Roo (con tasas de 30.16 en 2005, 37.14 en 2009); Chiapas (con 37.73 en 2005 y 46.68 en 2009), y Baja California Sur (con 38.86 en 2005 y 50.76 en 2009) (INEGI 2011).

Síntomas

Las personas con diabetes de tipo 2 pueden no presentar síntomas durante meses o años hasta que la enfermedad es diagnosticada. Los primeros síntomas son causados por los elevados niveles de azúcar en la sangre, cuando estos niveles aumentan demasiado, el azúcar aparece en la orina, para expulsar las elevadas cantidades de este, los riñones expulsan una cantidad de agua adicional, por lo que los pacientes producen grandes volúmenes de orina (poliuria). La pérdida de agua provoca polidipsia (sed anormal) así como también debido a que el azúcar no se utiliza como fuente de energía se presenta un hambre excesiva (polifagia) que conlleva a una pérdida de peso. Otros síntomas son visión borrosa, vértigos, escasa resistencia al esfuerzo y sensación de mareo (Beers, 2004).

Tratamiento

El objetivo del tratamiento es mantener los niveles de azúcar en la sangre dentro de los niveles normales, así como prevenir o controlar los síntomas y reducir el riesgo de desarrollar complicaciones asociadas como hipertensión o hipercolesterolemia. Se recomienda la modificación de las costumbres diarias, el régimen, la actividad física y en caso de que estos no funcionen se realiza un tratamiento farmacológico utilizando hipoglucemiantes orales (Beers, 2004).

Costo del tratamiento farmacológico de la diabetes mellitus tipo 2 en México

Como se mencionó antes la diabetes mellitus es un grave problema de salud pública y de alto costo, la DM cuando está mal controlada puede representar una pesada carga económica tanto para el paciente como para la sociedad. Lo cual se ve reflejado en cifras del IMSS ya que en el periodo de 1991 a 1996 el gasto promedio anual para la atención de pacientes diabéticos fue de 1650 millones de pesos.

De acuerdo a un estudio publicado en 2007 (Mariana, 2007), el mercado de los agentes hipoglucemiantes tuvo una tendencia de ascenso con un incremento de 141.13% de 1999 a 2003. Siendo las combinaciones Sulfonilureas/Biguanidas los agentes hipoglucemiantes más vendidos en el mercado representando un 56.03% de las ventas en 2003, de esta combinación la más consumida fue la de glibenclamida/metformina con un 69.1% de las ventas de ambos grupos. El costo del tratamiento por 30 días osciló entre los 54 y 2256 pesos lo cual, teniendo en cuenta que el salario mínimo fue de 46 pesos, y que el 40% de los hogares mexicanos recibe un ingreso menor a dos salarios mínimos mensuales además de que el banco mundial estima un total de 58 millones de pobres hace evidente que un amplio número de pacientes no tiene acceso a los medicamentos (Mariana, 2007).

Plantas medicinales

Se define como cualquier vegetal que contenga, en cualquiera de sus órganos, alguna sustancia con actividad farmacológica que se pueda usar con fines terapéuticos o que se pueda emplear como prototipo para obtener nuevos fármacos por síntesis o hemisíntesis. (Kuklinski, 2000). Las plantas medicinales siempre han sido un elemento importante en las comunidades rurales o indígenas como es el caso de México, en el cual existe una gran tradición herbolaria, debido en muchos de los casos a su importancia cultural, por lo que se puede decir que estas no fueron elegidas al azar (Heinrich, 1998). Debido a esta importancia muchas de ellas son usadas cotidianamente como remedios caseros y tienen una gran aceptación a pesar de que pueden provocar efectos tóxicos, los cuales suelen ser muy raros y en muchas de las ocasiones están relacionados a contaminantes o interacciones entre fármacos (Rodríguez-Fragoso, 2008).

México es un país con gran biodiversidad, se estima que hay 23 522 especies de plantas de las cuales aproximadamente 15 000 son endémicas del país (Convention on Biological Diversity, 2012) de las cuales hay una gran cantidad de plantas medicinales.

Algunas plantas medicinales utilizadas en el tratamiento de la diabetes mellitus

La diabetes mellitus es una enfermedad que en algunas comunidades de México suele ser tratada con extractos de plantas, esto en la etapa inicial de la enfermedad. El número de especies que se utilizan en México para el tratamiento de la diabetes asciende a 306 especies documentadas aunque se estima que se utilizan alrededor de 500 (Andrade-Cetto y Heinrich, 2005), algunos ejemplos con actividad farmacológica documentada son:

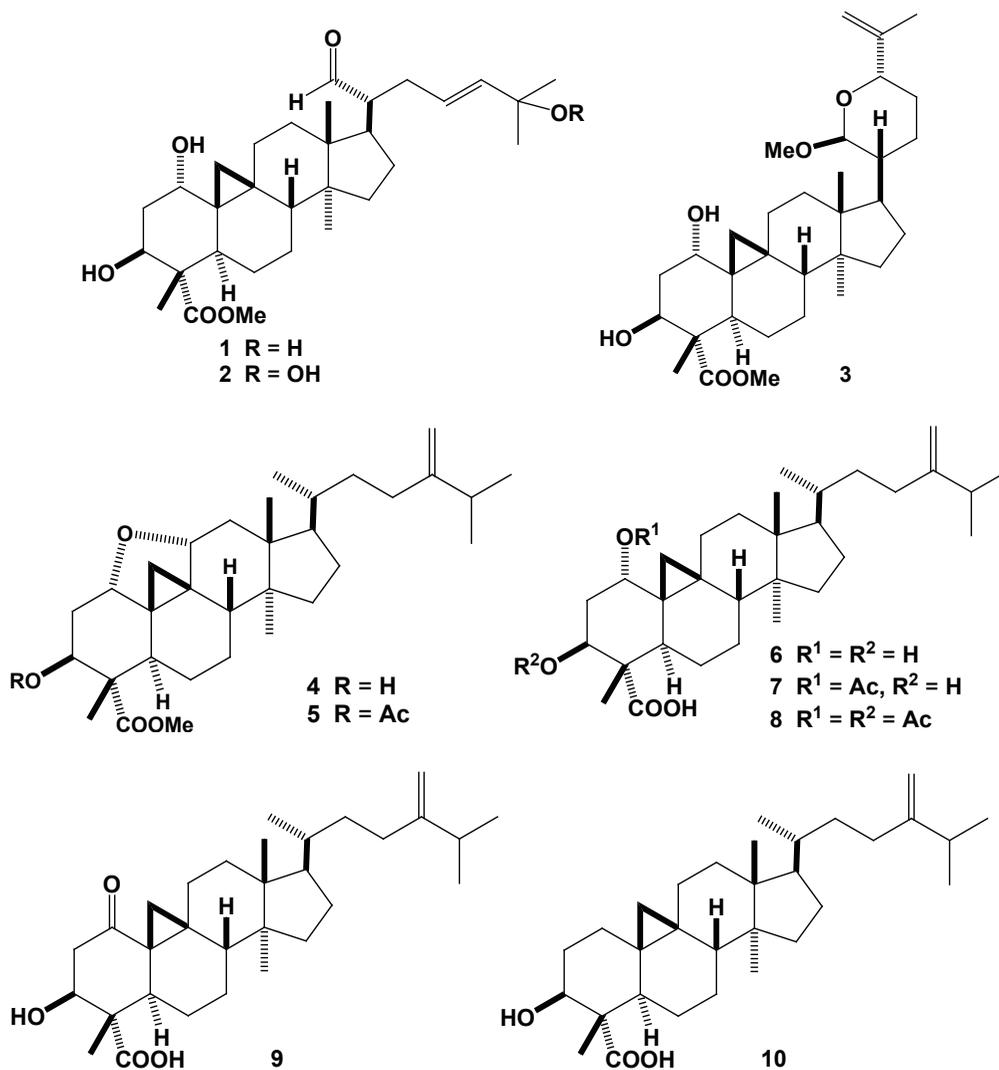
Agastache mexicana, *Agave atrovirens*, *Allium cepa*, *Aloe barbadensis*, *Aloe vera*, *Ananas comosus*, *Annona cherimola*, *Annona glabra*, *Annona muricata*, *Arctostaphylos pungens*, *Argemone mexicana*, *Argemone ochroleuca*, *Argemone platyceras*, *Aristolochia asclepiadifolia*, *Aristolochia malacophylla*, *Aristolochia sericea*, *Artemisia absinthium*, *Bocconia arborea*, *Bursera simaruba*, *Castela texana*, *Cecropia peltata*, *Cnidiosculus chayamansa*, *Combretum farinosum*, *Equisetum giganteum*, *Equisetum hyemale*, *Guazuma ulmifolia*, *Juliania adstringens*, *Kalanchoe pinnata*, *Loeselia mexicana*, *Mentha piperita*, *Opuntia ficus-indica*, *Piper auritum*, *Prunus serotina subsp. capuli*, *Randia echinocarpa*, *Rhipsalis baccifera*, *Tamarindus indica*, *Tecoma starts*.

Plantas del género *Combretum* sp.

El género *Combretum* pertenece a la familia de las Combretaceae, este género incluye aproximadamente 370 especies, en África se encuentra dentro de las especies más abundantes, muchas de las especies del género *Combretum* se utilizan con fines medicinales en el tratamiento de dolor abdominal, dolor de espalda, tos de pecho, diarrea, dismenorrea, dolor de oído, fiebre, anquilostoma, infertilidad en mujeres, lepra, mordeduras de serpiente, hinchazón causada por paperas, sífilis, dolor de dientes y debilidad general, suelen utilizarse las hojas o el tallo, ya que los frutos han reportado toxicidad en humanos. (McGaw, 2001). Algunas de las especies del género *Combretum* son utilizadas en el tratamiento de la diabetes como *Combretum farinosum* en México (Andrade-Cetto y Heinrich, 2005) y *Combretum molle* en África (Ojewole, 2009) el cual presenta actividad hipoglucemiante debido al

glucósido del ácido mollico. Algunas estructuras de metabolitos secundarios aislados de *C. quadrangulare* se muestran en la figura 1 (Banskota *et al.*, 1998).

Figura 1. Estructura de metabolitos secundarios aislados de *Combretum quadrangulare*



Descripción general de *Combretum farinosum*

Se conoce también como Carape, escobetillo, guam viejo, peineta, peinetillo. Es una planta que presenta tallos débiles, sus hojas son ovaladas o un poco alargadas, de color verde claro. Sus flores

son anaranjadas, rojas o verde-amarillentas y pueden estar agrupadas en forma alargada como peines muy vistosos. Es originaria de México. Habita en climas cálido, semicálido y templado. Tradicionalmente se utiliza toda la planta, en infusión para el tratamiento de la tos. En afecciones renales pulmonares y del corazón se utilizan las hojas las cuales se hierven y se administran vía oral. En el tratamiento de la diabetes se chupa la savia del tallo directamente; la savia también se utiliza de forma tópica en infecciones de los ojos (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2012). Por lo que el objetivo de esta investigación es evaluar la actividad hipoglucemiante de diferentes extractos de *Combretum farinosum* en ratas.

II. Materiales y Métodos

Material vegetal

Hojas y tallos de *Combretum farinosum*, fueron recolectados en el estado de Guerrero, en el Municipio de Tecpan de Galeana en abril de 2011. Una muestra de referencia fue depositada en el Herbario Hortorio Jorge Hernández Espinoza del Área de Biología, Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

Preparación de extractos

A partir de 3.741 kg de tallos, se prepararon los extractos orgánicos empleando hexano (3 veces, 14 L, 3 días), luego con cloruro de metileno (CH_2Cl_2) (3 veces, 11 L, 3 días), y finalmente con metanol (MeOH) (3 veces, 14 L, 3 días). Los disolventes fueron evaporados al vacío empleando un rota vapor (Büchi Modelo R111, Waterbath B-461), para dar 19.3 g, 20.4 g, y 341.9 g de extractos de hexano, de CH_2Cl_2 y de MeOH, respectivamente. Por otro lado, 2.1 kg de hojas fueron extraídas maceración empleando primero hexano (12 L x 3 veces), luego CH_2Cl_2 (10 L x 3 veces) y al final MeOH (11 L x 3 veces) al evaporar los disolventes en un rotavapor al vacío se obtuvieron 56.9 g, 73.9 g y 255.4 de extractos de hexano, CH_2Cl_2 y de MeOH, respectivamente.

Animales

Se utilizaron ratas Wistar macho, de 180 a 220 g de peso corporal y alimentadas con dieta normal (Nutricubos PurinaMR), las ratas fueron mantenidas y cuidadas en condiciones normales de Bioterio del Área de Biología del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) a temperatura ambiente (23 a 25° C), humedad y ciclos de luz y oscuridad ambiental de 12 horas por 12 horas. Previo al estudio las ratas fueron sometidas a 18 horas en ayuno, con libre acceso al agua. El uso y manejo de estos animales se llevó a cabo conforme a la Norma Oficial Mexicana para su Cuidado y Manejo (NOM-062-ZOO-1999) y de acuerdo con las reglas internacionales relativas al cuidado y manejo de animales de laboratorio.

Efecto hipoglucémico de extractos

Se valoró el efecto hipoglucémico de los extractos de hexano, CH_2Cl_2 y MeOH tanto hojas como tallos, en ratas Wistar normoglicémicas utilizando los extractos obtenidos. Los extractos fueron sus-

pendidos en Tween 80 (0.05 %, en solución salina isotónica), Las dosis a evaluar para cada tipo de extracto fue de 300 mg/kg de peso corporal, más el control, consistente en el vehículo de agua destilada y tween 80. Se utilizaron lotes exploratorios de tres individuos por tratamiento para encontrar el extracto activo, además se incluyó un lote de control. Las dosis de extractos fueron administradas por vía oral (0.5 mL/100 g) a ratas en ayuno de 18 horas, mediante una sonda flexible. El efecto hipoglucémico se evaluó con el método de la glucosa oxidasa empleando un glucómetro modelo One Touch ultra II (American Life Scan Co., Milpitas, CA, USA). Las muestras de sangre fueron obtenidas por medio de un corte de la parte final de la cola (vena caudal) de la rata, sumergiendo previamente la cola en baño de agua a $39\pm 1^\circ$ C durante 30 s. Los niveles de glucosa basal en los animales fueron medidos antes de administrar los extractos y después a intervalos de tiempo de 1.5 h después de suministrar la dosis correspondiente y registrando las seis lecturas para cada animal a las 0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 y 9.0 h. El porcentaje de variación de la hipoglucemia para cada grupo fue calculado con respecto a los niveles iniciales de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\% \text{ de variación} = \frac{(Gt - Gi) \times 100}{Gi}$$

Donde Gi corresponde a los niveles de glucosa iniciales, Gt son los valores de glucosa sanguínea en cada intervalo de tiempo.

Efecto hipoglucemiante de la glibenclamida

Para corroborar el efecto hipoglucemiante experimentado por los grupos de animales en los tratamientos, se incluyó un experimento adicional consistente en la observación y medición del efecto de un fármaco conocido, en este caso se empleara glibenclamida como agente hipoglucemiante de uso común en humanos. Este fármaco será suspendido en Tween 80 (0.05%), Similarmente, las dosis a evaluar fueron: 10, 30, 100 y 300 mg/kg de peso corporal, más el control, consistente en el vehículo de agua destilada y tween 80. Se utilizaron lotes de 3 individuos por tratamiento. Las dosis de extractos serán administradas por vía oral (0.5 mL/100 g) a ratas en ayuno de 18 horas, mediante una sonda flexible. Los niveles de glucosa basal en los animales fueron medidos antes de administrar la glibenclamida y después a intervalos de tiempo de 1.5 h suministrando las dosis correspondientes y registrando las seis lecturas para cada animal a las 0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 y 9.0 h.

Análisis estadísticos

Los resultados se expresan en un análisis de varianza (ANOVA) como el promedio \pm la desviación estándar, empleando la prueba t de student al 95% de confianza.

III. Análisis y Discusión de Resultados

Se prepararon los extractos de corteza y hojas de *Combretum farinosum* a partir de 3.741 kg de tallos y 2.1 kg de hojas.

Efecto hipoglucémico de extractos de *C. farinosum*

Los resultados de la evaluación del efecto hipoglucémico de los extractos de tallos y hojas de *C. farinosum* se muestran en las figuras 1 y 2, respectivamente. Algunos extractos mostraron un efecto de aumento de los niveles de glucosa en rata, por ejemplo el extracto metanólico de tallos entre las 2 y 3 horas (figura 1) y los extractos de hojas de hexano y CH_2Cl_2 entre la primera y la segunda hora de observación, este efecto hiperglicémico inicial ha sido observado previamente en la evaluación de algunas plantas con actividad hipoglucemiante (Akhtar y Iqbal, 1991). Descartando el efecto del extracto de MeOH de hojas por ser muy errático, los extractos de hexano y CH_2Cl_2 desarrollaron la menor actividad hipoglucemiante en rata reflejado en un porcentaje de variación de -30 (figura 2) con respecto a los extractos de tallos (figura 1) donde el porcentaje de variación fue de -40 a las 5 horas después de la administración oral de extractos. Tanto el extracto de hexano como el de CH_2Cl_2 obtenidos de los tallos de esta planta mostraron la más alta actividad hipoglucemiante, se seleccionó el extracto de CH_2Cl_2 de tallos de *C. farinosum* por tener disponible una cantidad ligeramente mayor de dicho extracto.

Figura 1. Evaluación del efecto hipoglucemiante de extractos orgánicos de tallos de *C. farinosum* en ratas normoglucémicas

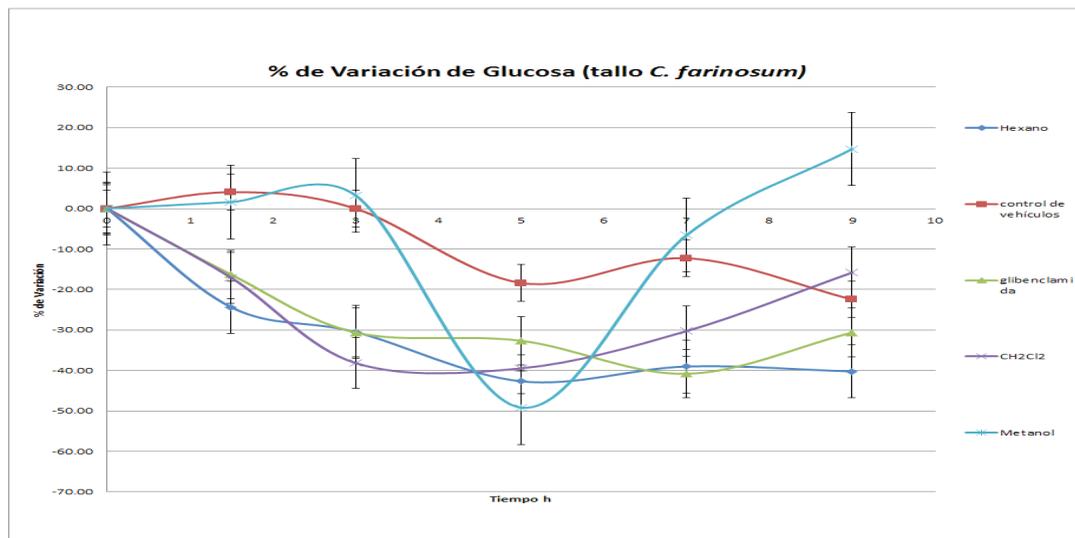
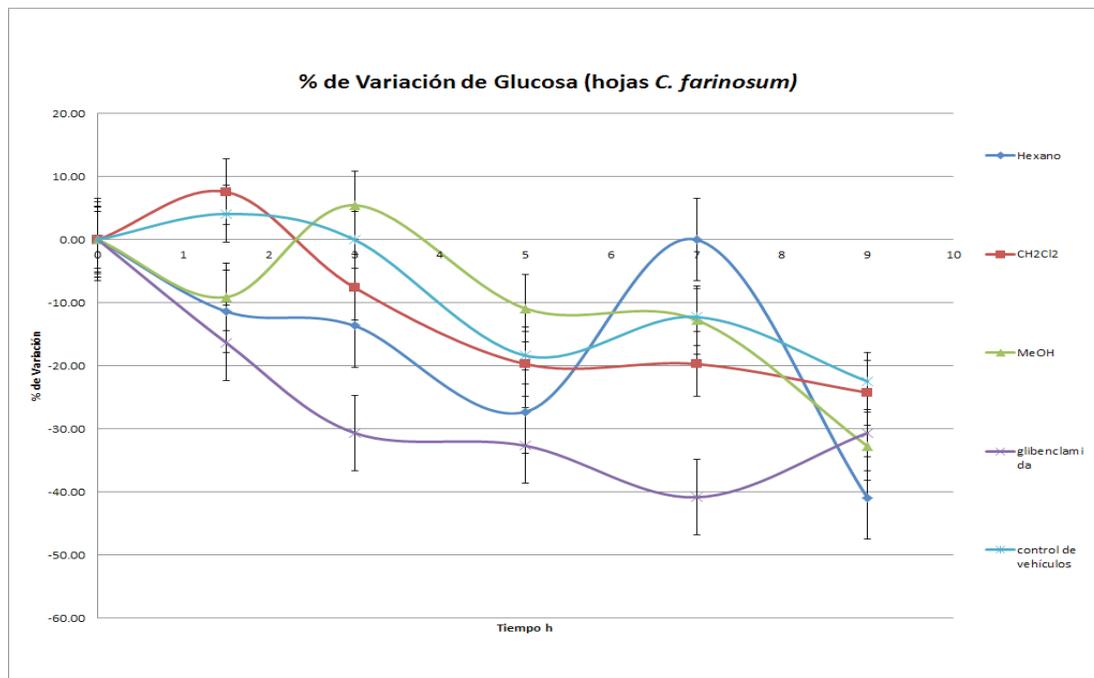


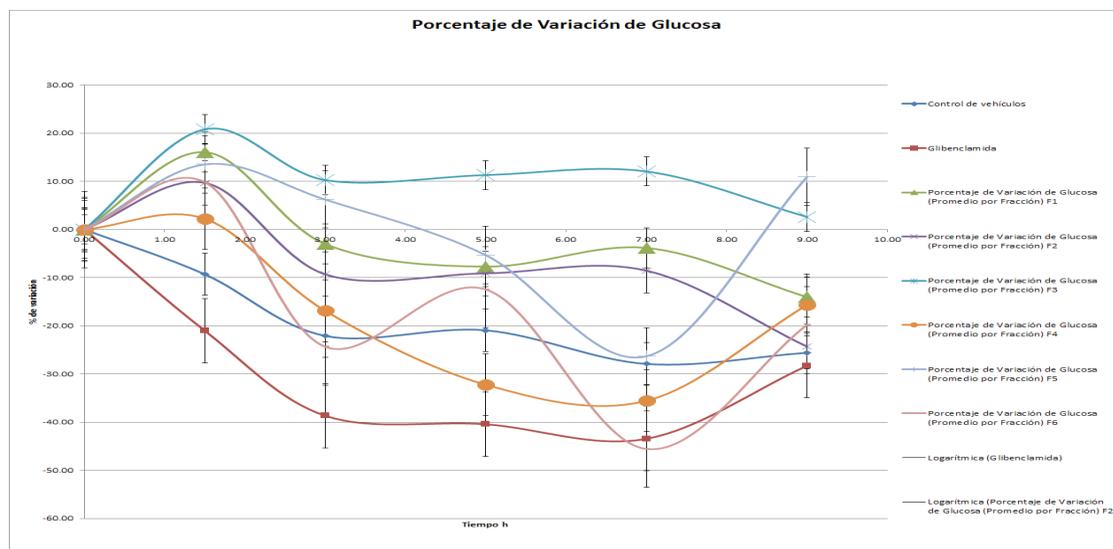
Figura 2. Evaluación del efecto hipoglucemiante de extractos orgánicos de hojas de *C. farinosum* en ratas normoglucémicas



Percolación del extracto de mayor actividad

El extracto de CH₂Cl₂ del tallo de *C. farinosum* redujo los niveles de glucosa a 46 mg/dL a las 5 horas. Una parte de este extracto (16 g) fue sometido a una percolación empleando una columna empacada con gel de sílice (0.063–0.200 mm, 270 g) utilizando como eluyente hexano (0.84 L, F1, 0.320 g), hexano/EtOAc (9:1, 0.84 L, F2, 2.03 g), hexano/EtOAc (7:3, 0.84 L, F3, 1.96 g), hexano/EtOAc (1:1, 0.84 L, F4, 2.482 g), acetato de etilo (EtOAc) (0.84 L, F5, 1.717 g) y Metanol (0.84 L, F6, 0.682 g). Las fracciones obtenidas fueron evaluadas en ratas wistar normoglicémicas, utilizando 6 lotes de tres ratas cada uno, incluyendo el grupo control de vehículos y glibenclamide. En la figura 3, se muestran los resultados de la actividad hipoglucemiante de las fracciones obtenidas de la percolación del extracto de CH₂Cl₂ de tallos de esta planta. Como se observa en dicha grafica la fracción F4 fue la más activa, cuyo porcentaje de variación fue de -35 a las 7 horas después de la administración oral de extractos, la actividad hipoglucemiante de la fracción F6 también mostro un efecto importante sin embargo su desempeño fue de manera errática, por lo que se seleccionó la F4 para continuar con el estudio biodirigido. Esta fracción está actualmente analizada por cromatografía en columna de silicagel y los sólidos obtenidos que mostraron homogeneidad en su pureza, están siendo analizados por RMN, IR y espectrometría de masas.

Figura 3. Evaluación del efecto hipoglucemiante de las fracciones F1 a F6 obtenidos por percolación del extracto de tallos de *C. farinosum* en ratas normoglucémicas



IV. Conclusiones

Se prepararon extractos con disolventes orgánicos tanto de las hojas como de los tallos de *C. farinosum*. Dichos extractos fueron evaluados en su actividad hipoglucemiantes utilizando ratas wistar macho, el extracto de CH_2Cl_2 de los tallos de esta planta desarrollaron la mayor actividad hipoglucemiante. La fracción F4 obtenida de la percolación en silicagel resulto ser la más activa por lo que se analizó por recromatografías suscivas con la finalidad de obtener compuestos puros que están siendo deducidos en su estructura molecular empleando técnicas de Infrarrojo, E. de masas, y RMN de ^1H y ^{13}C . Falta por evaluar el efecto antidiabético de los extractos preparados en ratas diabetizadas con alloxan.

Agradecimientos

Se agradece la asistencia técnica de la Sra. Obdulia Palma por el manejo de animales de laboratorio. También se agradece al Centro de Investigación en Etnobiología y biodiversidad (CIETBIO) y a la Dirección General de Investigación y Posgrado (DGIP) de la Universidad Autónoma Chapingo por el financiamiento de este proyecto.

V. Referencias Bibliográficas

Akhtar, M. S.; Iqbal, J. (1991). Evaluation of the hypoglycaemic effect of *Achyranthes aspera* in normal and alloxan-diabetic rabbits. *Journal of Ethnopharmacology*. 31, 1, 49-5.

Andrade-Cetto, A.; Heinrich, H. (2005). Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. *Journal of Ethnopharmacology* 99 (2005) 325–348.

Banskota A. H., Tezuka Y., Phung L. K., Tran K. Q., Saiki I., Miwa Y., Taga T., Kadota S. 1998. Cytotoxic cycloartane-type triterpenes from *Combretum quadrangulare*. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 8, 3519-3524.

Banskota et al. 1998. *Combretum quadrangulare* *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 8, 3519-3524.
Beers MH. 2004. Manual Merck de información médica, edad y salud Barcelona: Oceano

Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. [Online]. [cited 2012 agosto 7. Available from: HYPERLINK <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=&id=7293> x

Carlos RV. 2011. Diabetes mellitus tipo 1 en México. Un gasto catastrófico para las familias. *Acta Pediátrica de México*. julio-agosto; 32(4).

Convention on Biological Diversity. [Online]. [cited 2012 agosto 28. Available from: HYPERLINK “<http://www.cbd.int/countries/profile.shtml?country=mx>”

Heinrich M. 1998. Medicinal plants in Mexico: healer’s consensus and cultural importance. *Social Science & Medicine.*; 47, 11.

INEGI, Geografía INDeY. [Online].; 2011 [cited 2012 agosto 12. Available from: HYPERLINK”<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/aPropositom.asp?s=inegi&c=2816&ep=75>”<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/aPropositom.asp?s=inegi&c=2816&ep=75> .

Kuklinski C. 2000. Farmacognosia. primera ed. Barcelona, España: Ediciones Omega.

Marina AM. 2007. Diabetes mellitus tipo 2, ventas de los hipoglucemiantes orales y costos de los tratamientos farmacológicos en México. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*. 38, 1, 23-33.

McGaw LJ. 2001. An investigation on the biological activity of *Combretum* species. *Journal of Ethnopharmacology*. 75, 45-50.

Norma Oficial Mexicana NOM-015-SSA2-1994, para la Prevención, Tratamiento y Control de la Diabetes.

Ojewole JA. 2009. Hypoglycaemic effect of mollic acid glucoside, a 1 α -hydroxycycloartenoid saponin extractive form *Combretum molle* R. Br. ex G Don (Combretaceae) leaf, in rodents. *Journal of Natural Medicines*. 63, 117-123.

Rodríguez-Bolaños R. 2010. costos directos de atención médica en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 en México: análisis de microcosteo. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 6, 28.

Rodríguez-Fragoso L. 2008. Risk and benefits of commonly used herbal medicines in México. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 227, 125-135.

Rull JA. Epidemiology of type 2. 2005. Diabetes in Mexico. *Archives of Medical Research*. 36: p. 188-196.

Benito Reyes Trejo¹; Diana Guerra Ramírez¹; Laura Pamela Ruiz Ponce²;
Holber Zuleta Prada¹; Jesús Axayácatl Cuevas Sánchez³ y Lino Joel Reyes⁴

AISLAMIENTO Y PURIFICACION DE CICLOPÉPTIDOS PRESENTES EN SEMILLAS *Jatropha curcas* DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA

I. Introducción

Entre las plantas que aportan semillas con potencial para la producción de biodiesel, *Jatropha curcas* L. es muy importante debido a sus múltiples atributos. El alto contenido y calidad de las proteínas del bagazo de semillas de algunas plantas, podría ser utilizado en la obtención de péptidos bioactivos. Los péptidos bioactivos son pequeñas secuencias aminoacídicas inactivas dentro de la proteína, pero que pueden ser liberados tras la hidrólisis de estas proteínas y ejercer diversas funciones. Entre los de mayor interés, sobresalen los péptidos con actividad opioide, opioide antagonista, antitrombótica, inmunomoduladora, transportadora de iones o hipotensora. Se discute la posible presencia de estos péptidos en otras fuentes proteicas, principalmente plantas oleaginosas y su posible aprovechamiento (Vioque *et al.*, 2000). Por lo que, en esta investigación se estudia el contenido de ciclopéptidos bioactivos en semillas de *J. curcas*.

A la temperatura ambiente las semillas *Jatropha curcas* pueden tener una alta viabilidad. A pesar de que las semillas son la parte más interesante de esta planta por su potencial, desde un punto de vista comercial, la mayoría de las variedades son tóxicas para los humanos y los animales, por dicha razón la utilización nutricional no es posible (Abdu-Aguye *et al.*, 1986; Mampane *et al.*, 1978; Liberalino *et al.*, 1988; Gandhi *et al.* 1995; Becker y Makkar, 1998).

¹Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química, Departamento de Preparatoria Agrícola, ²Departamento de Agroecología, ³Banco de Germoplasma, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, ⁴Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química UNAM



Se encuentran descritos varios trabajos donde se utiliza el látex que producen plantas de la familia de las euforbiáceas como la *Jatropha curcas* o piñón de cerro de la que se han identificado ciclopéptidos como la curcaciolina (Auvin *et al.*, 1997). Mientras que de *Jatropha gossypifolia* se aisló ciclogossina B (Auvin-Guette *et al* 1997) mismos que desarrollaron propiedades antimaláricas e inmunosupresoras entre otras (Tan y Zhou, 2006). Ahora se continúa el estudio de las semillas de *J. curcas* en la Sierra Norte de Puebla, con la finalidad de detectar, purificar e identificar ciclopéptidos bioactivos.

II. Materiales y Métodos

Recolecta del material vegetal

Las semillas de *Jatropha curcas* se colectaron de diferentes regiones del Totonacapan, Sierra Norte de Puebla, México. Especímenes de referencia se depositaron en el Banco Nacional de germoplasma (BANGEM) y en el Herbario del Departamento de Bosques de la Universidad Autónoma Chapingo.

Preparación de extractos a partir de semillas

Extracción con disolventes orgánicos de semillas *J. curcas*, se obtuvieron los extractos orgánicos. Primero el material vegetal se extrajo con hexano (3 veces, 3 días), se filtró el disolvente y se evaporó en un rotavapor al vacío. Al residuo vegetal resultante después de la filtración se extrajo vía maceración con metanol (3 veces por 3 días), después de evaporar los disolventes, resultaron los extractos de hexano y de metanol.

Preparación de reactivos (reveladores)

Disolución de o-tolidina

Se disolvieron 40 mg de o-tolidina en 8 mL de ácido acético glacial, y se aforó la solución a 62.5 mL con agua destilada y finalmente se agregó 0.25 g de yoduro de potasio.

Eluyente: Diclorometano/metanol/agua (5:4:1)

Procedimiento:

Se cortó una sección longitudinal de 5 cm procedente de una placa cromatográfica preparativa de silicagel (2 mm de espesor, de 20x20 cm), se marcaron a una altura de 1.5 cm y se aplicó tanto al segmento de 5x20 cm como al de 15x20 cm una porción de 100 mg de extracto de metanol de las semillas de *J. curcas*. El segmento de 5x20 cm de la placa después de eluida, se dejó reposando en una atmósfera de cloro (Cloralex) durante 15 minutos, procurando que la solución de cloro no tocara la placa. Transcurrido este tiempo, se dejó evaporar el cloro que está en exceso a temperatura ambiente por unas horas (5 horas aproximadamente). Para conocer si ya se evaporó totalmente el cloro que no reaccionó y no tener un falso positivo, en una esquina de la placa se le aplicó la solución de o-tolidina, la coloración azul nos indicó aun la presencia de cloro. Después de confirmar la ausencia de coloración azul, se procedió a rociar el segmento angosto de la placa con la solución de o-tolidina y sin aplicar calor, se observaron coloraciones azules, lo que indicó la presencia de ciclopéptidos. Este segmento de placa ya revelado, fue alineado junto a la placa de medición 15x20 cm y la porción



de aparición de ciclopéptido ayudó para el marcado con lápiz de dos bandas donde se localizaron ciclopéptidos. Dichas bandas fueron raspadas, se extrajeron primero con metanol y enseguida con agua destilada, al evaporar los disolventes, se obtuvo un ciclopéptido puro.

III. Análisis y Discusión de Resultados

Después de extraer el aceite de semillas de *Jatropha curcas*, resultó un residuo o bagazo, dicho residuo (aprox. 10 g) se sometió a una extracción con metanol (8 mL) tres veces por 3 días cada una. .

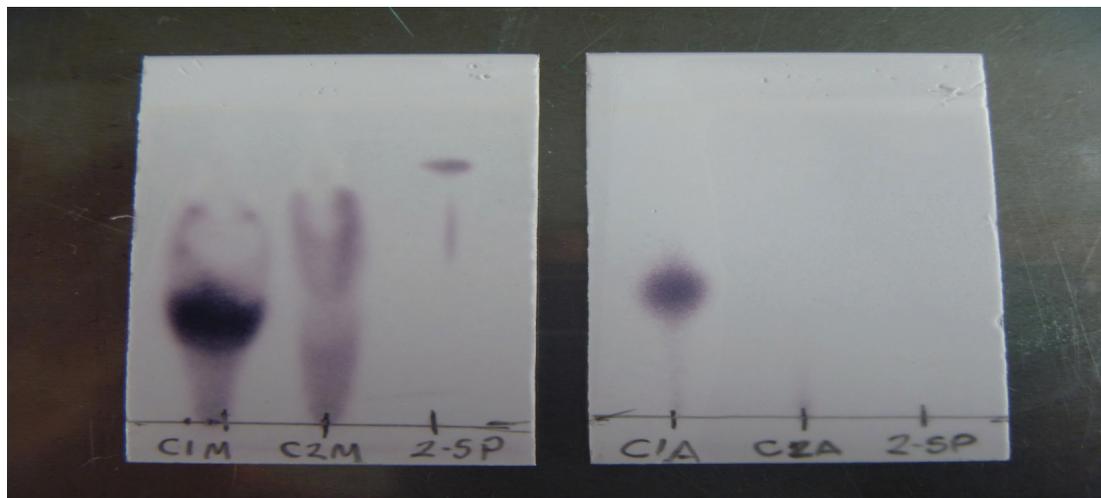
Detección de aminoácidos y péptidos

Los extractos de metanol obtenidos de la muestra de semillas de la Sierra Norte de Puebla, se analizaron por cromatografía en capa delgada. Para esto, cada muestra fue aplicada en carriles separados a una cromatoplaaca analítica de silicagel, también se aplicó una muestra de L-valina como referente de comparación. La cromatoplaaca se eluyó con una mezcla de diclorometano:metanol:agua en una proporción 5:4:1, después de evaporar la mayor parte del eluyente, dicha placa se reveló por aspersión de una disolución de ninhidrina y enseguida se reveló por aplicación de calor en un plato de calentamiento marca corning a 100°C por 30s. Se observaron una serie de seis manchas color rosa intenso, indicando la presencia de seis aminoácidos o de péptidos de cadena abierta, ya que este reactivo detecta los grupos NH₂ libres en las moléculas.

Detección y aislamiento de ciclopéptidos

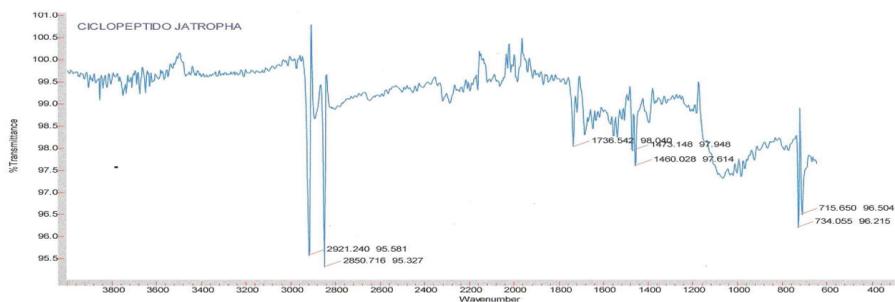
Para la detección de ciclopéptidos (Tan y Zhou, 2006), los extractos de metanol obtenidos de las semillas de *J. curcas*, fueron aplicados a una cromatoplaaca analítica de silicagel, también se aplicó una muestra de 2,5-piperazindiona, como referente de comparación. La cromatoplaaca se eluyó con una mezcla de diclorometano:metanol:agua en una proporción 5:4:1, después de evaporar la mayor parte del eluyente, dicha placa se mantuvo dentro de una cámara de vidrio en un ambiente de vapores de cloro durante 15 min., se dejó reposar fuera de la cámara por espacio de 5 horas y posteriormente se reveló por aspersión con una disolución de o-tolidina, observándose una serie de al menos dos manchas azules semejantes al color desarrollado por la 2,5-piperazindiona, (Figura 1), indicándose con este ensayo que además del látex de las hojas de *J. curcas*, también las semillas contienen ciclopéptidos. La observación de esta prueba positiva para ciclopéptidos se fundamenta en una reacción de N-cloración a los grupos amido de los ciclopéptidos, (Jun y Ninghua, 2000).

Figura 1. Cromatografía en capa delgada (CCD) de la franja rica en ciclopeptidos obtenidos por CCD preparativa, a) Franja extraída con metanol; b) Franja extraída con agua



Después de extraer los ciclopeptidos de las placas preparativas de silicagel, se observó que solo uno de los dos ciclopeptidos extraídos con metanol y agua, asignándoles las claves C1M y C1A se obtuvo como más abundante, figura 1.

Figura 2. Espectro de Infrarrojo tipo ATR de la franja abundante en ciclopeptidos de semillas de *Jatropha curcas*



Para complementar el estudio esta muestra fue sometida a un estudio de infrarrojo empleando la técnica de FT-IR ATR, figura 2. En dicho espectro, se muestra en 1736 cm^{-1} una banda característica de grupo carbonilo de grupos amídicos que forman al ciclopéptido, así mismo se observan bandas a 1460 y 2921 cm^{-1} para las vibraciones de enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno, respectivamente.

IV. Conclusiones

Se colectaron semillas de *J. curcas* del poblado de Olintla, Sierra Norte de Puebla, se extrajo el aceite, se prepararon extractos de metanol de esta colecta. Las tres muestras indicaron la presencia de aminoácidos y/o péptidos de cadena abierta. También se detectaron ciclopéptidos en estos extractos. Este resultado es de interés, ya que es la primera vez que se detectan ciclopéptidos en semillas de esta especie, falta aislarlos, purificarlos y caracterizarlos a nivel de estructura molecular, empleando Resonancia Magnética Nuclear (RMN), espectrometría de masas (EM), espectroscopía infrarroja (IR) entre otras técnicas.

V. Referencias Bibliográficas

- Abdu-Aguye, I. Sannusi, A., Alafiya-Tayo, R. A., Bhusnurmath, S. R. (1986). Acute Toxicity Studies with *Jatropha curcas*. *Hum. Toxicol.* 5, 269-274
- Auvin, C.; Baraguey, C.; Blond, A.; Lezenven, F.; Pousset, J.-L.; Bodo, B. (1997) Curcacycline B, a cyclic nonapeptide from *Jatropha curcas* enhancing rotamase activity of cyclophilin. *Tetrahedron Lett.* 38, 2845
- Auvin-Guette, C.; Baraguey, C.; Blond, A.; Pousset, J.-L.; Bodo, B. (1997). Cyclogossine B, a Cyclic Octapeptide from *Jatropha gossypifolia*. *Journal of Natural Products* 60, 1155-1157
- Becker, K., Makkar, H.P.S. (1998) Toxic effects of phorbol esters in carp (*Cyprinus carpio* L.) *Vet. Hum. Toxicol.* 40, 82-86.
- Duke, J. A. (1985). A Review of *Jatropha curcas*: an Oil Plant of Unfulfilled Promise. *Biomass and Bioenergy* 19, 2000.
- Gandhi, V.M., Cherian, K.M.; Mulky, M. J. (1995) Toxicological studies on ratanjyot oil. *Food. Chem. Toxicol.* 33, 39-42.
- Jun, Z.; Ninghua, T. (2000). Application of a new TLC chemical method for detection of cyclopeptides in plants *Chinese Science Bulletin* 45, 1825-1831
- Liberalino, A. A. Bambirra, E. A., Moraes-Santos, T., Vieira, E.C. (1988) *Jatropha curcas* L. seeds: chemical analysis and toxicity. *Arq. Biol. Tecnol.* 31, 539-550.



Mampane, K.J., Joubert, P.H., Hay. I.t. (1987) *Jatropha curcas*: Use as a traditional Tswana medicine and its role as a cause of acute poisoning. *Phytother; Res.* I, 50-51.

Tan, N-H.; Zhou, J. (2006). Plant Cyclopeptides. *Chemical Reviews*, 106, 840-895

Vioque, J.; Sánchez-Vioque, R.; Clemente A.; Pedroche, J.; Yust, M.M.: Milan, F. (2000). Péptidos Bioactivos en proteínas de reserva. *Grasas y aceites.* 51, 5, 361-365.



PREPARACIÓN DE N-(2-BROMOBENCIL)-N-(2-(FENILSULFINIL)VINIL)ACETAMIDAS COMO PRECURSORES HACIA LA SÍNTESIS DE 1,2-DIHIDROISOQUINOLINAS

I. Introducción

Los alcaloides constituyen una de las clases más amplias de productos naturales, siendo sintetizados prácticamente por la mayoría de los organismos marinos y terrestres, en cualquier nivel evolutivo. La extraordinaria variedad, complejidad estructural de los alcaloides y las propiedades biológicas que exhiben, han intrigado durante mucho tiempo a los químicos dedicados a los productos naturales (estudios biosintéticos y determinación estructural), a los análisis químicos y a la química orgánica, particularmente a los dedicados a la síntesis orgánica. Por otro lado, los toxicólogos, farmacólogos y las compañías farmacéuticas han usado y sin duda; continuarán utilizando alcaloides como herramientas biológicas o como compuestos útiles para el desarrollo de nuevos fármacos. La importancia de estos compuestos, se evidencia por la cantidad impresionante de documentos que describen las estructuras, las actividades biológicas y farmacológicas de los alcaloides. Compilaciones, excelentes libros y un flujo constante de publicaciones son ejemplo de ello. Uno de los conjuntos de alcaloides interesantes son las isoquinolinas y sus derivados, los cuales; constituyen uno de los grupos más numerosos de la inmensa familia de los alcaloides (más de 15.000) e incluyen los principios activos de numerosas plantas medicinales. Las características estructurales derivadas del esqueleto común de isoquinolina (frecuentemente como tetrahidroisoquinolina) y análogos con diferentes patrones de

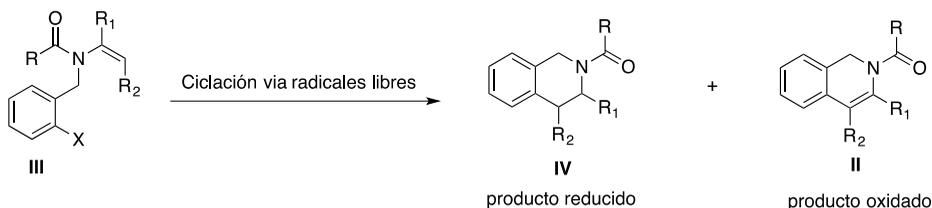
Laboratorio de Productos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo.

sustitución, conducen a una amplia diversidad estructural, que juegan un papel muy importante en el campo de la medicina debido a su elevado potencial químico y diversas actividades farmacológicas como: antimicrobiana y antitumoral, antiviral y antiinflamatoria, antipasmodica, antifúngica, antioxidante e inhibidor de enzimas. Los derivados alcaloideos que poseen actividad antihelmíntica han sido usados ampliamente en la ganadería como antiparasitario. En consecuencia, los procesos orientados hacia la obtención de compuestos que contienen como estructura base un anillo isoquinolinico, cetoquinolinico o derivados de tetrahidroisoquinolinas, han sido objeto de numerosos estudios por investigadores dedicados a la síntesis de alcaloides. Por lo tanto la contribución al desarrollo de nuevas metodologías para la obtención de las isoquinolinas es un trabajo importante; cuando los procesos se enmarcan en protocolos sencillos, condiciones amigables con el medio ambiente y metodologías novedosas.

II. Antecedentes

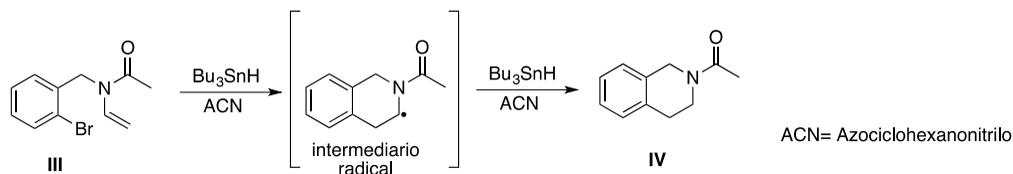
Un número inmenso de métodos apropiados síntesis de isoquinolinas han sido descritos en la literatura. Los procesos involucran reacciones conocidas como: Pictet-Spengler y Bischler-Napieralski, hasta protocolos elegantes con una gran variedad de metodologías sintéticas modernas y robustas que ofrecen selectividad y eficiencia. Estos procedimientos, han sido explotados y están disponibles para la obtención de productos naturales que contienen el núcleo isoquinolinico. Dado que el núcleo de isoquinolina contiene un anillo aromático fusionado con un anillo de 6 miembros; las metodologías de síntesis están encaminadas a la formación de este ciclo de 6 miembros. Una de las metodologías más conocidas, para obtener este ciclo **IV**, es a través de una reacción de ciclación por radicales alquilo o fenilo sobre dobles enlaces de enamidas **III** (Figura 2).

Figura 2. Productos de la ciclación radical de enamidas vinílicas



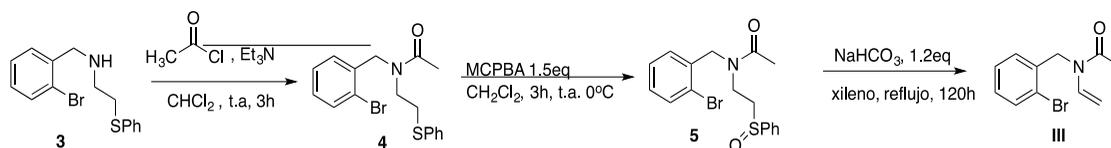
En este proceso se obtiene en mayor rendimiento el producto de ciclación reducido **IV** y solo trazas del producto oxidado **II**, el cual contiene una doble ligadura adicional, la cual puede ser usada para posteriores reacciones. La ciclación se logra de manera eficiente por el uso de el sistema (iniciador-acarreador de radicales) ACN/Bu₃SnH, al usar este sistema las condiciones de reacción son exclusivamente reductoras, esto explica porque se obtiene el producto **IV** como mayoritario. Como se puede observar, el intermediario clave para la ciclación es la enamida vinílica **III** (Figura 3).

Figura 3. Ciclación sobre enamidas para la formación de anillo de 6 miembros



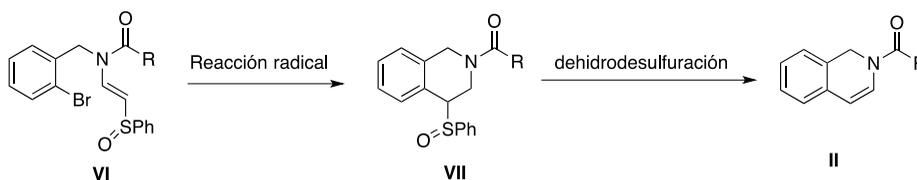
La preparación de la enamida vinílica **III**, fue reportada por ishibashi partiendo de aminas tipo **3** que se alquilaron para obtener la acetamida **4**, que se oxidó al sulfóxido **5** y se eliminó a la enamida **III** (Figura 4).

Figura 4. Proceso de obtención de enamidas vinílicas



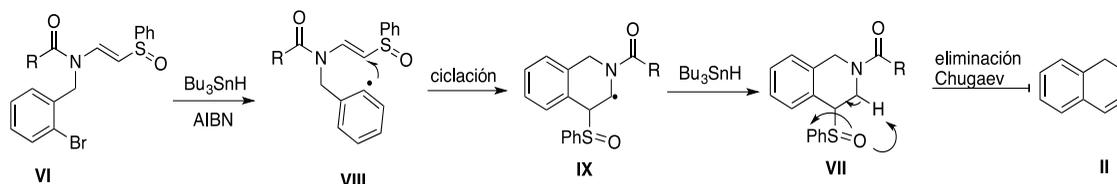
En este proceso el intermediario clave para la obtención de la enamida vinílica, es el vinilsulfóxido **5**. Con estos antecedentes en mente y observando la versatilidad de los sulfóxidos, se plantea explorar la preparación del vinilsulfóxido como intermediario para la síntesis de isoquinolinas oxidadas tipo **II**. En el presente trabajo: *se propone preparar un sistema óptimo para una ciclación similar; condicionando el proceso a la formación de los compuestos 1,2-dihidroisoquinolinico vía la combinación del proceso de ciclación radical y posterior eliminación tipo Chugaev de un vinilsulfóxido, VI de esta manera se generarían derivados de 1,2-dihidroisoquinolina II, que eventualmente podría ser utilizada como intermediario sintético en la construcción de sistemas anulares de mayor complejidad; como los de algunos alcaloides, por funcionalización del doble enlace obtenido en el proceso de eliminación, remarcando que el intermediario clave sería en este caso el vinilsulfóxido **5** en lugar de las enamidas vinílicas **III**, como se planteó en los ejemplos anteriores (Figura 5).*

Figura 5. Esquema 5. Propuesta para la obtención de 1,2-dihidroisoquinolinas



La propuesta sintética se enfoca en la hipótesis de que, un radical arilo **VIII** formado a partir de los haluros correspondientes (en este caso bromuros **VI**) se ciclará de manera 6-*endo* sobre el enlace doble del vinilsulfóxido **VIII**, generando así un nuevo radical **IX**, el cual a su vez sería reducido por condiciones bastantes reductoras proporcionadas por el hidruro de tributilestano al derivado isoquinolinico **VII**, que luego podría eliminarse térmicamente para generar el producto deseado **II** (Figura 6).

Figura 6. Mecanismo propuesto para la reacción de ciclación-eliminación



En esta propuesta se plantean 2 etapas la primera es obtener los vinilsulfóxidos y la segunda es llevar a cabo las ciclaciones radicalarias para la obtención del núcleo isoquinolinico. En el momento actual se ha concluido la primera etapa y se espera iniciar a etapa 2.

El objetivo fue establecer las condiciones de reacción óptimas, para llevar a cabo la síntesis de los derivados de vinilsulfóxidos tipo **II**. Realizar la síntesis y caracterización de los derivados de vinilsulfóxidos con diferentes bromobenzaldehídos.

II. Materiales y Métodos

Reactivos y disolventes

Todos los reactivos químicos fueron adquiridos de Sigma-Aldrich y la mayoría fueron utilizados sin purificación adicional. Los disolventes: acetato de etilo, hexano, diclorometano, metanol, etanol y acetona, se destilaron por los métodos comunes reportados.

Seguimiento y purificación de productos

El seguimiento de las reacciones se llevó a cabo por cromatografía de capa fina, en cromatoplasmas de gel de sílice 60 (ALUGRAM® SIL G/UV₂₅₄), las visualización se realizó con luz ultravioleta en lámpara de UV Mineral Light, también se uso como revelador el ácido fosfomolibdico por calentamiento de las cromatoplasmas. La cromatografía flash por columna para purificación de los compuestos se realizó sobre gel de sílice 60 (0.040-0.063mm., malla 230-4000 ASTM) como fase estacionaria.

Análisis físico y espectroscópico de los productos obtenidos

Los puntos de fusión fueron medidos con un aparato Fischer-Johns y no fueron corregidos. Los espectros de infrarrojo fueron obtenidos en un espectrofotómetro Nicolet FT-IR Magna 740, usando la técnica de disolución en CHCl₃ en celdas de NaCl y sobre pastilla de KBr. Perkin-Elmer

337 y Bruker tensor 37 FT-IR. Magna 750, usando la técnica de disolución en CHCl_3 en celdas de NaCl .

Los espectros de masas (EM) fueron determinados en un espectrofotómetro Joel JEMAX505HA de baja resolución por la técnica de impacto electrónico, (IE) a 70 eV.

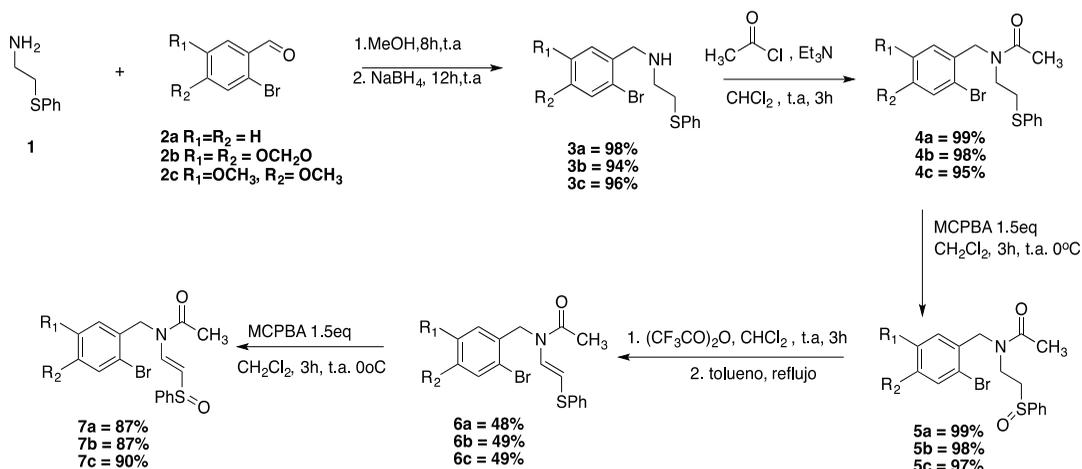
Los espectros Resonancia Magnética Nuclear de proton y carbono (^1H -RMN y ^{13}C -RMN) se determinaron mediante un equipo Bruker AC 300 (300MHz para ^1H y 75MHz para ^{13}C) usando cloroformo deuterado (CDCl_3) como disolvente, y tetrametilsilano (TMS) como referencia interna.

El desplazamiento químico (δ) está dado en partes por millón (ppm) y las constantes de acoplamiento (J) están dadas en Hertz (Hz).

Procedimiento experimental

La síntesis de los derivados de *N*-(2-bromobencil)-*N*-(2-(fenilsulfinil)vinil)acetamida (**7a-c**) se realizó a partir de una serie de pasos sintéticos los cuales iniciaron con la preparación de la tiofenetilamina, que sirvió como precursor para la reacción de aminación reductiva del producto entre la tiofenetilamina **1** y ortobromobenzaldehídos, **2a-c**, que generó las aminas secundarias **3a-c**. Las aminas secundarias **3a-c**, se acilaron con cloruro de acetilo en trietilamina, obteniéndose las acetamidas correspondientes **4a-c**. La oxidación al sulfóxido de las acetamidas **4a-c**, fue realizada con ácido metacloroperbenzoico en diclorometano. El tratamiento de los sulfóxidos generados **5a-c**, con anhídrido trifluoroacético seguido por el calentamiento a reflujo en tolueno origina los vinilsulfuros **6a-c** productos de arreglo de Pummerer, que finalmente fueron oxidados para obtener los productos deseados vinilsulfóxidos **7a-c** (Figura 7).

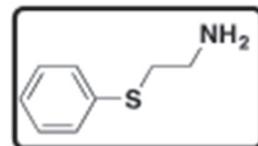
Figura 7. Resumen de la metodología para la obtención de los vinilsulfóxidos **7a-c**



A continuación se describen los protocolos usados para la preparación de cada uno de los productos obtenidos en cada paso.

Preparación de la tiofenetilamina (1)

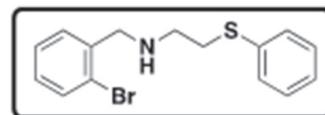
En un matraz de 50mL se disolvieron (0.20g, 8.6mmol) de sodio en 25mL de etanol. A esta mezcla se agregaron (1.0g, 9.0mmol) de tiofenol. La mezcla de reacción se colocó por 1 hora en agitación a temperatura ambiente. Seguidamente se adicionaron (0.79g, 9.0mmol) de 2-oxazolidinona. La mezcla de reacción se colocó a reflujo por 8 horas. Al término de la reacción se evaporó al solvente a vacío y se disolvió en agua (25mL) se y se extrajo con CH_2Cl_2 (3 x 15mL). La fase orgánica se seco sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (AcOEt/MeOH 6:4), obteniéndose en un rendimiento (1.29g, 93%). como un líquido amarillo. Los datos espectroscópicos corresponden con los reportados en la literatura.



Preparación de las aminas secundarias 3a-c

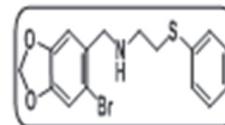
N-(2-bromobencil)-2-(tiofenil)etanamina (3a)

En un matraz redondo de 200mL se colocaron (4.5g, 29.0 mmol) de 2-(tiofenil)etanamina (1), mas (5.0g, 27.0 mmol) del 6-bromo-1,3-benzodioxol-5-carbaldehído (2a) disueltos en 100mL de metanol anhidro. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 8 horas. Seguidamente, se agregó lentamente (10 min) (1.05g, 27.0mmol) de NaBH_4 , la mezcla de reacción se dejó en agitación a temperatura ambiente por 12 horas. Al término de la reacción se eliminó el disolvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/ACOEt 7:3), obteniéndose como un aceite amarillo oscuro en un rendimiento de (8.24g, 98%).



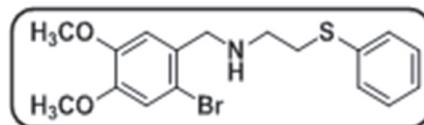
N-[(6-bromo-1,3-benzodioxolano-5-il)metil]-2-(tiofenil)etanamina (3b)

En un matraz redondo de 100mL se colocaron (3.0g, 19.6 mmol) de 2-(tiofenil)etanamina (1), mas (4.5g, 19.7 mmol) del 6-bromo-1,3-benzodioxol-5-carbaldehído (2b) disueltos en 20mL de metanol anhidro. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 8 horas. Seguidamente, se agregó lentamente (10 min) (0.7g, 19.7mmol) de NaBH_4 , la mezcla de reacción se dejó en agitación a temperatura ambiente por 12 horas. Al término de la reacción se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/ACOEt 7:3), obteniéndose como un aceite oscuro en un rendimiento de (6.75g, 94%).



N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-2-(tiofenil)etilamina (3c)

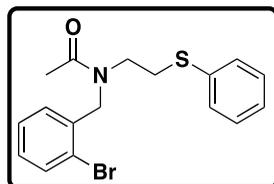
En un matraz redondo de 100mL se colocaron (0.5g, 3.5 mmol) de 2-(tiofenil)etilamina (1), mas (0.8g 3.2 mmol) del 2-bromo-3,4-dimetoxibenzaldehído (2c) disueltos en 20mL de metanol anhidro. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 8 horas. Seguidamente, se agregó lentamente (10min) (0.1g, 3.5 mmol) de



NaBH₄. La mezcla de reacción se dejó en agitación a temperatura ambiente por 20 horas. Al término de la reacción se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 1:1), obteniéndose como un aceite amarillo claro, en un rendimiento (1.20g, 96%).

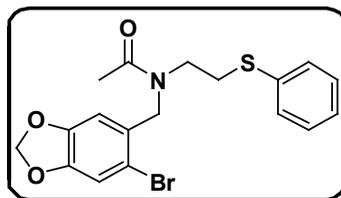
Preparación de las acetamidas 4a-c

N-(2-bromobencil)-N-(2-(tiofenil)etil)acetamida (4a)



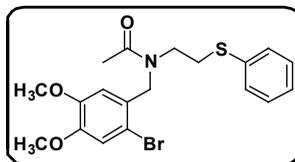
En un matraz redondo de 100mL se colocaron (1.0g, 3.1 mmol) de la N-(2-bromobencil)-2-(tiofenil)etanamina (**3a**), mas (0.37g 0,52mL, 3.6mmol) de trietilamina disueltos en 40mL de CH₂Cl₂. Seguidamente se agregó gota a gota (10 min), (0.29g 0.26mL, 3.6 mmol) del cloruro de acetilo. La mezcla de reacción se colocó por 1 hora en agitación a temperatura ambiente. Al término de la reacción, se eliminó el solvente al vacío. El crudo se disolvió en agua (100mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 30mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 8:2), obteniéndose como un aceite traslucido en un rendimiento (1.12gr 99%) de rendimiento.

N-((6-bromobencil[d][1,3]dioxolano-5-il)metil)-N-(2-(tiofenil)etil)acetamida (4b)



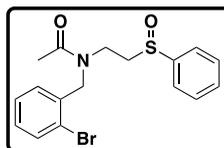
En un matraz redondo de 50mL se colocaron (0.65g, 1.7 mmol) de la N-[(6-bromo-1,3-benzodioxolano-5-il)metil]-2-(tiofenil)etanamina (**3b**), mas (0.21g 0,29mL, 2.1mmol) de trietilamina disueltos en 20mL de CH₂Cl₂. Seguidamente se agregó gota a gota (10 min), (0.16g 0.15mL, 2.1 mmol) del cloruro de acetilo. La mezcla de reacción se colocó por 1 hora en agitación a temperatura ambiente. Al término de la reacción, se eliminó el solvente al vacío. El crudo se disolvió en agua (100mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 30mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 8:2), obteniéndose como un aceite traslucido en un rendimiento (0.72gr 98%) de rendimiento

N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-N-(2-(tiofenil)etil)acetamida (4c)



En un matraz redondo de 50mL se colocaron (2.0g, 5.23mmol) de la N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-2-(tiofenil)etanamina (**3c**), mas (0.63g 0.87mL, 6.20mmol) de trietilamina disueltos en 30mL de CH₂Cl₂. Seguidamente se agregó gota a gota (10 min), (0.49g 0.44mL, 6.20mmol) del cloruro de acetilo. La mezcla de reacción se colocó por 1 hora en agitación a temperatura ambiente. Al término de la reacción, se eliminó el solvente al vacío. El crudo se disolvió en agua (130mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 40mL). La fase orgánica se seco sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 1:1), obteniéndose como un aceite traslucido en un rendimiento (2.17gr 95%) de rendimiento.

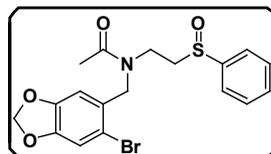
Preparación de los sulfóxidos (5a-c)



N-(2-bromobencil)-N-(2-(fenilsulfoxido)etil)acetamida (5a)

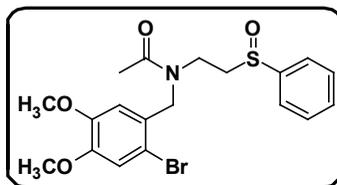
En un matraz redondo de 100mL se colocó (0.80g, 2.1mmol) de la N-(2-bromobencil)-N-(2-(tiofenil)etil)acetamida (**4a**), se disolvió en 20mL de CH₂Cl₂. Seguidamente se agregó lentamente a 0oC durante 10 minutos (0.49g, 2.8mmol) de MCPBA. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Al término de la reacción. Se agregó NaHCO₃, (10mL), se disolvió en agua (30mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 10mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 1:1), obteniéndose como un aceite amarillo en un rendimiento (0.82gr 99%)

N-((6-bromobencil[d][1,3]dioxolano-5-il)metil)-N-(2-(fenilsulfoxido)etil)acetamida (5b)



En un matraz redondo de 100mL se colocó (0.65g, 1.59mmol) de la N-((6-bromobenzo[d][1,3]dioxolano-5-il)metil)-N-(2-(tiofenil)etil)acetamida (**4b**), se disolvió en 15mL de CH₂Cl₂. Seguidamente se agregó lentamente a 0°C durante 10 minutos (0.32g, 1.82mmol) de MCPBA. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Al término de la reacción. Se agregó NaHCO₃, (10mL), se disolvió en agua (30mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 10mL). La fase orgánica se seco sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 1:1), obteniéndose como un aceite amarillo en un rendimiento (0.67gr 98%)

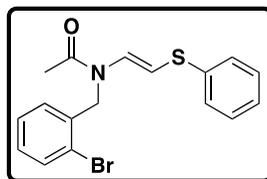
N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-N-(2-(fenilsulfoxido)etil)acetamida (5c)



En un matraz redondo de 100mL se colocó (1.40g, 3.30mmol) de la N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-N-(2-(tiofenil)etil)acetamida (**4c**), se disolvió en 20mL de CH₂Cl₂. Seguidamente se agregó lentamente a 0 °C durante 20 minutos (0,85g, 4.95mmol) de MCPBA. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Al término de la reacción. Se agregó NaHCO₃, (15mL), se disolvió en agua (70mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 15mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 1:1), obteniéndose como un aceite amarillo en un rendimiento (1.44gr 97%)

Preparación de los vinilsulfuros (6a-c)

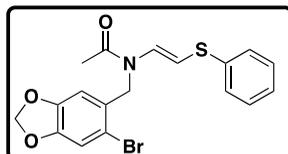
(E)-N-(2-bromobencil)-N-(2-(tiofenil)vinil)acetamida (6a)



En un matraz redondo de 25mL equipado con un refrigerante se colocaron 0.5g(1.3mmol) de la N-(2-bromobencil)-N-(2-(fenilsulfoxido)etil)acetamida (**5a**) disuelta en 15mL de CH₂Cl₂ más 0.3g (1.44mmol) del anhídrido trifluoroacético. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Seguidamente se evaporó el CH₂Cl₂, al crudo de la reacción se le adicionó tolueno (15mL) y la mezcla de reacción se colocó a reflujo por 5 horas. Al término de la reacción,

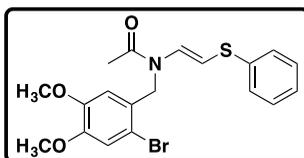
se eliminó el disolvente al vacío. El crudo se disolvió en agua (30mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 15mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 8:2), obteniéndose como un aceite translucido en (0.23g 48%) de rendimiento.

(E)-N-((6-bromobenzo[d][1,3]dioxol-5-il)metil)-N-(2-(tiofenil)vinil)acetamida (6b)



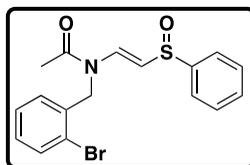
En un matraz redondo de 25mL equipado con un refrigerante se colocaron 0.8g (1.88mmol) de la N-((6-bromobencil[d][1,3]dioxolano-5-il)metil)-N-(2-(fenilsulfoxido)etil)acetamida (**5b**) disuelta en 15mL de CH₂Cl₂ más 0.43g (2.07mmol) del anhídrido trifluoroacético. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Seguidamente se evaporó el CH₂Cl₂. Al crudo de la reacción se le adicionó tolueno (15mL) y la mezcla de reacción se colocó a reflujo por 5 horas. Al término de la reacción, se eliminó el disolvente al vacío. El crudo se disolvió en agua (30mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 15mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 7:3), obteniéndose como un aceite translucido en (0.4g 49%) de rendimiento.

(E)-N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-N-(2-(tiofenil)vinil)acetamida (6c)



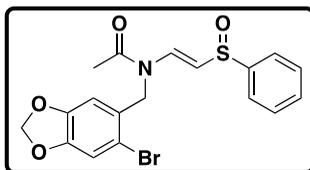
En un matraz redondo de 25mL equipado con un refrigerante se colocaron 0.6g (1.3mmol) de la N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-N-(2-(fenilsulfoxido)etil)acetamida (**5c**) disuelta en 15mL de CH₂Cl₂ más 0.31g (1.49mmol) del anhídrido trifluoroacético. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Seguidamente se evaporó el CH₂Cl₂, al crudo de la reacción se le adicionó tolueno (15mL) y la mezcla de reacción se colocó a reflujo por 5 horas. Al término de la reacción, se eliminó el disolvente al vacío. El crudo se disolvió en agua (30mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 15mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 7:3), obteniéndose como un aceite translucido en (0.3g 49%) de rendimiento.

(E)-N-(2-bromobencil)-N-(2-(fenilsulfoxido)vinil)acetamida (7a)



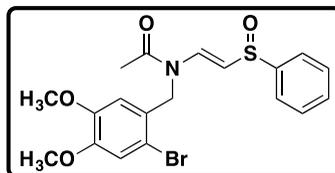
En un matraz redondo de 10mL se colocó (0.2g, 0.55mmol) de la (E)-N-(2-bromobencil)-N-(2-(tiofenil)vinil)acetamida (**6a**), se disolvió en 5mL de CH_2Cl_2 . Seguidamente se agregó lentamente a 0oC durante 20 minutos (0,12g, 0.71mmol) de MCPBA. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Al término de la reacción. Se agregó NaHCO_3 , (15mL), se disolvió en agua (20mL) y se extrajo con CH_2Cl_2 (3 x 10mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 6:4), obteniéndose como un aceite amarillo en un rendimiento (0.2g 87%)

(E)-N-((6-bromobenzo[d][1,3]dioxol-5-il)metil)-N-(2-(fenilsulfóxido)vinil)acetamida(7b)



En un matraz redondo de 10mL se colocó (0.2g, 0.49mmol) de la (E)-N-((6-bromobenzo[d][1,3]dioxol-5-il)metil)-N-(2-(tiofenil)vinil)acetamida (**6b**), se disolvió en 5mL de CH_2Cl_2 . Seguidamente se agregó lentamente a 0oC durante 10 minutos (0.11g, 0.63mmol) de MCPBA. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Al término de la reacción. Se agregó NaHCO_3 , (15mL), se disolvió en agua (20mL) y se extrajo con CH_2Cl_2 (3 x 10mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 1:1), obteniéndose como un aceite amarillo en un rendimiento (0.2g 87%)

(E)-N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-N-(2-(fenilsulfóxido)vinil)acetamida (7c)

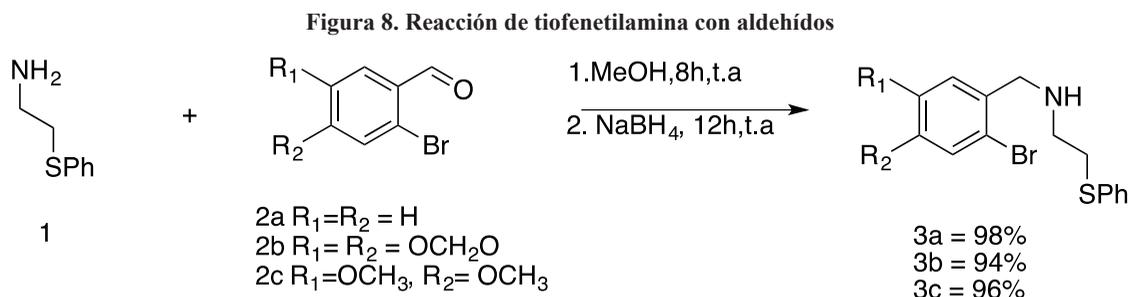


En un matraz redondo de 10mL se colocó (0.2g, 0.47mmol) de la (E)-N-(2-bromo-4,5-dimetoxibencil)-N-(2-(tiofenil)vinil)acetamida (**6c**), se disolvió en 5mL de CH₂Cl₂. Seguidamente se agregó lentamente a 0oC durante 20 minutos (0.10g, 0.61mmol) de MCPBA. La mezcla de reacción se colocó en agitación a temperatura ambiente por 3 horas. Al término de la reacción. Se agregó NaHCO₃, (15mL), se disolvió en agua (20mL) y se extrajo con CH₂Cl₂ (3 x 10mL). La fase orgánica se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se eliminó el solvente al vacío. El producto fue purificado por cromatografía flash (hexano/AcOEt 6:4), obteniéndose como un aceite amarillo en un rendimiento (0.21 g 90%).

Es importante mencionar que la tiofenetilamina **1** se debió preparar, ya que no es comercializada. Se usó un método bastante versátil, reportado igualmente por Ishibashi basado en estudios de la química de tiofenoles.¹⁶ Este método consistió en mezclar el tiofenol **9**, con una solución de etóxido de sodio en etanol, a la cual se le adicionó la 2-oxazolidinona **8**, que es susceptible a un ataque de forma regio selectiva por parte del tiofenóxido originando la tiofenetilamina**1**.

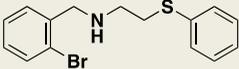
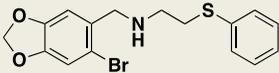
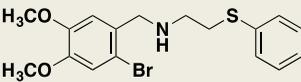
III. Análisis y Discusión de Resultados

Como se mencionó en los antecedentes, La metodología general usada^{1a} para preparar vinilsulfóxidos, involucró inicialmente una reacción de aminación reductiva entre la tiofenetilamina **1** y los aldehídos **2a-c**, donde se generaron las aminas secundarias **3a-c**, que se obtuvieron en excelentes rendimientos y se identificaron completamente por espectroscopia de ¹H-RMN, ¹³C-RMN, IR, EM⁺ (Figura 8).



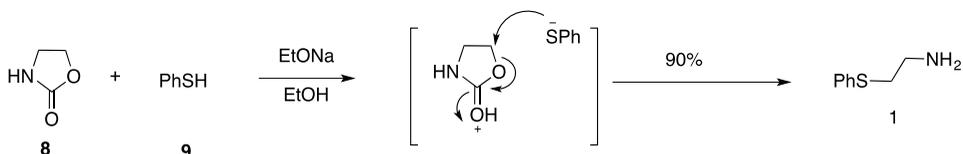
Los datos espectroscópicos de las aminas 3a-c corroboran las estructuras obtenidas. Tabla 1.

Tabla 1. Colección de datos espectroscópicos de las aminas 3a-c

Aminas	Datos espectroscópicos
	<p>¹H-RMN (300 MHz, CDCl₃) δ ppm=7.54-7.07 (m, 9H), 3.86 (s, 2H), 3.11-3.06 (m, 2H), 2.87-2.82 (m, 2H), 1.88 (s, 1H); ¹³C-RMN y DEPT (75.4 MHz, CDCl₃): δ ppm =139.0, 135.6, 132.8, 130.1, 129.8, 129.8, 128.8, 128.8, 128.5, 127.3, 126.2, 53.2, 47.4, 34.4; IR (película): cm⁻¹=3308, 3059, 3014, 2922, 2836, 1441, 1287, 1024; EM (IE) (286°C) (EI): m/z (%) M⁺: 322(5.0), 242(15), 198(98), 169(100); 124(70). EMHR: Calculadopara C₁₅H₁₆BrNS= 322.0265, observado: 322.0265.</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, CDCl₃) δ ppm=7.36-7.18 (m, 5H), 6.98 (s, 1H), 6.87 (s, 1H), 5.95 (s, 2H), 3.11-3.07 (m, 2H), 2.85-2.81 (m, 2H), 3.77 (s, 2H), 2.07 (s, 1H); ¹³C-RMN y DEPT (75.4 MHz, CDCl₃): δ ppm =147.4, 147.3, 135.4, 131.9, 129.8, 129.8, 128.9, 128.9, 126.2, 114.1, 112.7, 110.0, 101.6, 53.0, 47.1, 34.1; IR (película): cm⁻¹=3308, 3057, 3010, 2895, 2840, 1476, 1237, 1037; EM (IE) (297°C) (EI): m/z (%) M⁺: 366(2.5), 286(20), 242(45), 213(100); EMHR: Calculadopara C₁₆H₁₆BrNO₂S= 366.0163, observado: 366.0171.</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, CDCl₃) δ ppm=7.36-7.14 (m, 5H), 6.99 (s, 1H), 6.92 (s, 1H), 3.85 (s, 3H), 3.85 (s, 3H), 3.80 (s, 2H), 3.12-3.08 (m, 2H), 2.88-2.84 (m, 2H), 2.00 (s, 1H); ¹³C-RMN y DEPT (75.4 MHz, CDCl₃): δ ppm =148.5, 148.5, 135.6, 130.9, 129.7, 129.7, 129.1, 128.8, 126.2, 115.5, 113.7, 112.9, 56.1, 56.0, 52.9, 47.4, 34.2; IR (película): cm⁻¹=3328, 3057, 2929, 2834, 1503, 1441, 1259, 1213; 1159, 1031, 742; EM (IE) (216°C): m/z (%) M⁺: 382(15), 302 (35), 258 (50), 231 (100), 229 (10); EMHR: Calculadopara C₁₇H₂₀BrNO₂S= 382.0480, observado: 382.0476.</p>

Con esta metodología, se obtuvo la amina en buen rendimiento. Esta síntesis resultó ser más eficiente que la anterior puesto que la reacción ocurre en un solo paso a pesar de lo desagradable que resulta trabajar con el tiofenol y sus derivados (Figura 9).

Figura 9. Síntesis de tiofenetilamina a partir del tiofenol



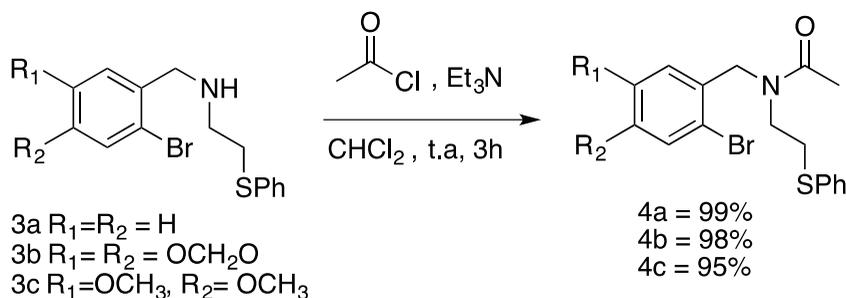
La tiofenetilamina 1, se identificó plenamente por espectroscopia de ^1H -RMN, ^{13}C -RMN, IR, EM+, datos que se corroboraron con los reportados en la literatura¹⁶ (Tabla 2).

Tabla 2. Datos espectroscópicos de la tiofenetilamina 1

tiofenetilamina	Datos espectroscópicos
	^1H -RMN (300 MHz, CDCl_3) δ ppm=7.39-7.16 (m, 5H), 3.06-3.04 (m, 2H), 2.94-2.90 (m, 2H), 2.84 (s, 1H); ^{13}C -RMN y DEPT (75.4 MHz, CDCl_3): δ ppm =135.6, 129.7, 129.7, 128.9, 126.2, 40.8, 38.02; IR (película,): cm^{-1} =3356, 3290, 3055, 2924, 2855, 1581, 1475; EM (IE) (218°C) (EI): m/z (%) M^+ : 153(30), 136(5), 124(100), 109(12), 91(10), 77(10), 65(7), 45(10), 30(45)

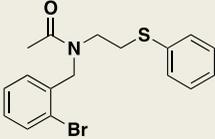
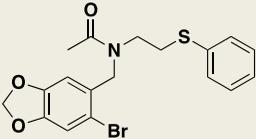
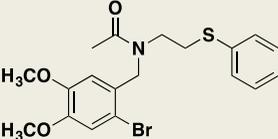
Prosiguiendo con la síntesis de las Acetamidas, las aminas secundarias **3a-c**, se acetilaron en condiciones suaves y de manera eficiente, con cloruro de acetilo-trietilamina obteniéndose las amidas **4a-c** en buen rendimiento (Figura 10).

Figura 10. Acetilación de las aminas secundarias **3a-c**



Las Acetamidas **4a-c**, se identificaron plenamente por espectroscopia de ^1H -RMN, ^{13}C -RMN, IR, EM+, tabla 3.

Tabla 3. Colección de datos espectroscópicos de las acetamidas 4a-c

acetamida	Datos espectroscópicos
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO 80°C) δ ppm=7.54-7.07 (m, 9H), 3.86 (s, 2H), 3.11-3.06 (m, 2H), 2.87-2.82 (m, 2H), 2.02 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75 MHz, DMSO 25°C): δ ppm =170.5, 170.4, 139.0, 139.0 135.6, 135.2 132.8, 130.1, 129.8, 129.8, 128.8, 128.8, 128.5, 127.3, 126.2, 53.2, 47.4, 34.4; IR (película): cm⁻¹=3308, 3059, 3014, 2922, 2836, 1651, 1441, 1287, 1024; EM (IE) (286°C) (EI): m/z (%) M⁺: 364(4.0), 320 (80), 198(98), 169(100); 124(70).</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO 80°C) δ ppm=7.35-7.22 (m, 4H), 7.21-7.13 (m, 2H), 6.73 (s, 1H), 6.03 (s, 2H), 4.48 (s, 2H), 3.44 (s, 2H), 3.10 (s, 2H), 2.02 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75 MHz, DMSO 25°C), se observo como una mezcla de rotámeros; δ ppm =170.3, 170.1, 147.6, 147.4, 147.2, 135.4, 134.8, 129.6, 129.0, 128.9, 128.5, 127.6, 126.1, 125.5, 112.6, 112.5, 112.2, 108.4, 108.1, 102.0, 101.8, 52.2, 47.7, 47.1, 45.1, 30.4, 28.9, 21.1; IR (película): cm⁻¹= 3054, 2903, 1650, 1478, 1416, 1238, 1036, 929; EM (IE) (52.8°C): m/z (%) M⁺: 408 (2), 364 (3), 328 (100), 271 (25);</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO, 80°C) δ ppm=7.32-7.25 (m, 4H), 7.20-7.13 (m, 2H), 6.78 (s, 1H), 4.51 (s, 2H), 3.78 (s, 3H), 3.71 (s, 3H), 3.48-3.43 (m, 2H), 3.12-3.03 (m, 2H), 2.04 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75.4 MHz, DMSO 25°C): se observo como una mezcla de rotámeros: δ ppm =170.2, 169.9, 148.9, 148.6, 148.5, 148.3, 135.4, 134.8, 129.0, 128.9, 128.3, 128.2, 127.4, 127.3, 126.0, 125.4, 116.0, 115.6, 112.5, 112.4, 112.0, 55.9, 55.8, 55.7, 55.6, 52.1, 47.2, 46.8, 45.0, 30.3, 28.9, 21.5, 21.1; IR (pastilla KBr): cm⁻¹=3060, 2938, 2844, 1639, 1502, 1445, 1268, 1161; 1001; EM (IE) (270°C): m/z (%) M⁺: 424 (0), 382 (5), 344 (100), 287 (20), 229 (70).</p>

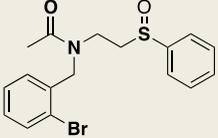
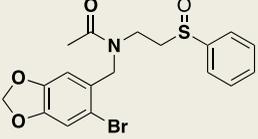
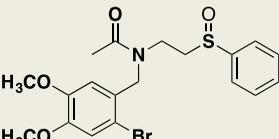
Las acetamidas 4a-c, se oxidaron en condiciones muy suaves usando el ácido metacloroperbenzoico en CH₂Cl₂, generando los sulfóxidos 5a-c, también en buen rendimiento (Figura 11).

Figura 11. Oxidación al sulfóxido mediada por MCPBA



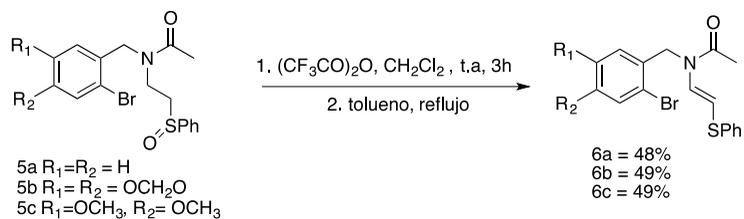
Los sulfóxidos 5a-c se identificaron completamente por espectroscopia de 1H -RMN, ^{13}C -RMN, IR, EM⁺ Tabla 4.

Tabla 4. Colección de datos espectroscópicos de las sulfóxidos 5a-c

vinilsulfóxidos	Datos espectroscópicos
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO, 80°C) δ ppm=7.53-7.08 (m, 9H), 3.86 (s, 2H), 3.11-3.06 (m, 2H), 2.87-2.82 (m, 2H), 2.02 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75 MHz, DMSO 25°C),: δ ppm =170.5, 170.4, 139.0, 139.0 135.6, 135.2 132.8, 130.1, 129.8, 129.8, 128.8, 128.8, 128.5, 127.3, 126.2, 53.2, 47.4, 34.4.; IR (película,): cm^{-1}=3308, 3059, 3014, 2922, 2836, 1651, 1441, 1287, 1024; EM (IE) (288°C) (EI): m/z (%) M^+: 364(4.0), 320 (80), 198(98), 169(100); 124(70).</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO, 80°C) δ ppm=7.65-7.62 (m, 2H), 7.59-7.52 (m, 3H), 7.13 (s, 1H), 6.72 (s, 1H), 6.04 (s, 2H), 4.44 (s, 2H), 3.70-3.50 (m, 1H), 3.47-3.37 (m, 1H), 3.29-3.09 (m, 1H), 3.05-2.98 (m, 1H), 2.03 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75.0 MHz, DMSO, 25°C): se observo como mezcla de rotámeros; δ ppm =170.4, 170.1, 147.6, 147.4, 147.2, 143.6, 143.1, 130.7, 130.6, 129.4, 129.2, 129.1, 128.8, 123.9, 123.8, 112.7, 112.5, 112.3, 108.4, 108.0, 102.1, 101.9, 52.6, 52.0, 47.7, 40.8, 40.3, 38.7, 21.4, 21.1.; IR (película,): cm^{-1}= 3050, 2920, 1649, 1478, 1238, 1037; EM (IE) (66.2°C): m/z (%) M^+: 424(10), 364 (3), 328 (100), 271 (25);</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO, 80°C) δ ppm=7.61-7.51 (m, 5H), 7.12 (s, 1H), 6.76 (s, 1H), 4.47 (s, 2H), 3.78 (s, 3H), 3.72 (s, 3H), 3.66-3.36 (m, 2H), 3.20-2.90 (m, 2H), 2.04 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75.4 MHz, DMSO, 25°C): se observó como mezcla de rotámeros; δ ppm =170.3, 169.9, 148.9, 148.7, 148.5, 148.3, 143.6, 143.1, 130.7, 130.6, 129.1, 129.0, 128.0, 127.2, 123.7, 123.7, 116.0, 115.6, 112.7, 112.0, 55.9, 55.7, 54.8, 52.8, 51.9, 47.1, 40.4, 38.5, 21.4, 21.1.; IR (película,): cm^{-1}= 2935, 1649, 1507, 1442, 1263, 1212, 1163, 1038, 751; EM (IE) (53.1°C): m/z (%) M^+: 440(0.5), 424 (5) ,398 (8) ,382 (15) ,314 (15), 272(10), 229 (100), 206 (10), 192(10).</p>

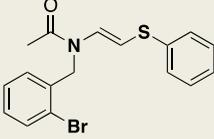
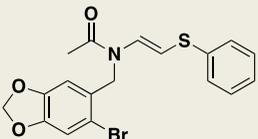
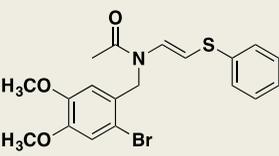
El penúltimo paso para la obtención de los productos deseados, consistió en la generación de los vinilsulfuros **6a-c**. Se usó una transposición tipo Pummerer, la cual permite después de un calentamiento en tolueno a ebullición eliminar los grupos hidroxilos formados en el proceso de granferencia y así obtener las dobles ligaduras.

Figura 12. Formación de vinilsulfuro, usando una reacción de transposición de Pummerer



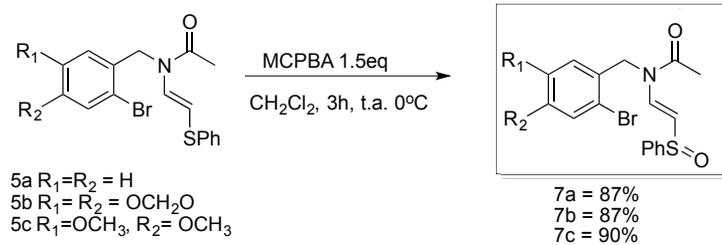
Convencionalmente esta reacción genera mayoritariamente los productos con geometría *E*, sin embargo por las condiciones de reacción y la formación en menor rendimiento del producto *Z*, los rendimientos se abaten sustancialmente, pero considerando el proceso; son aceptables en este tipo de reacciones (Figura 12). Los vinilsulfuros **6a-c** se identificaron completamente por espectroscopia de ^1H -RMN, ^{13}C -RMN, IR, EM $^+$. Tabla 5.

Tabla 5. Datos espectroscópicos de los vinilsulfuros 6a-c

Vinilsulfuros	Datos espectroscópicos
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO 80°C) δ ppm=8.27-8.25 (d, 1H), 7.58-7.08 (m, 9H), 6.03-6.01 (d, 1H) 3.86 (s, 2H), 2.02 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75 MHz, DMSO 25°C): δ ppm =170.5, 170.4, 139.0, 139.0 135.6, 135.2 ,133.8,132.8, 130.1, 129.8, 129.8, 128.8, 128.8, 128.5, 127.3, 126.2, 109.4, 47.4, 34.4.; IR (película.): cm⁻¹=3306, 3055, 3014, 2923, 2836, 1651, 1441, 1287, 1024; EM (IE) (286°C) (EI): m/z (%) M⁺: 362(2.0), 321 (80), 198(98), 169(100); 124(70).</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO, 80°C) δ ppm=8.25-8.23 (d, 1H), 7.65-7.62 (m, 2H), 7.59-7.52 (m, 3H), 7.13 (s, 1H), 6.72 (s, 1H), 6.04 (s, 2H), 6.03-6.01 (d, 1H), 4.44 (s, 2H), (m, 1H), 2.03 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75.0 MHz, DMSO, 25°C): se observo como mezcla de rotámeros; δ ppm =170.4, 170.1, 147.6, 147.4, 147.2, 143.6, 143.1, 130.7, 130.6, 129.4, 129.2, 129.1, 128.8, 123.9, 123.8, 112.7, 112.5, 112.3, 108.4, 108.0, 102.1, 101.9, 52.6, 52.0, 47.7, 40.8, 40.3, 38.7, 21.4, 21.1.; IR (película.): cm⁻¹= 3050, 2920, 1649, 1478, 1238, 1037; EM (IE) (200°C) (EI): m/z (%) M⁺: 406(2.0), 321 (80), 198(98), 169(100); 124(70).</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO, 80°C) δ ppm=7.61-7.51 (m, 5H), 7.12 (s, 1H), 6.76 (s, 1H), 4.47 (s, 2H), 3.78 (s, 3H), 3.72 (s, 3H), 3.66-3.36 (m, 2H), 3.20-2.90 (m, 2H), 2.04 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75.4 MHz, DMSO, 25°C): se observo como mezcla de rotámeros; δ ppm =170.3, 169.9, 148.9, 148.7, 148.5, 148.3, 143.6, 143.1, 130.7, 130.6, 129.1, 129.0, 128.0, 127.2, 123.7, 123.7, 116.0, 115.6, 112.7, 112.0, 55.9, 55.7, 54.8, 52.8, 51.9, 47.1, 40.4, 38.5, 21.4, 21.1.; IR (película.): cm⁻¹= 2935, 1649, 1507, 1442, 1263, 1212, 1163, 1038, 751; EM (IE) (70°C): m/z (%) M⁺: 422 (2.5), 424 (5), 398 (8), 382 (15), 314 (15), 272(10), 229 (100), 206 (10), 192(10).</p>

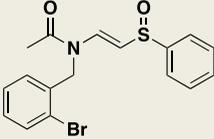
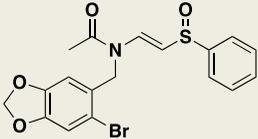
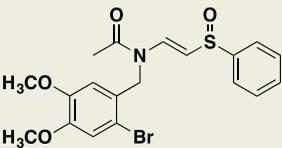
El paso final para acceder a los intermediarios que finalizan esta etapa se llevó a cabo realizando una reacción de oxidación del vinil sulfuro al vinilsulfóxido como se había realizado anteriormente, la reacción fue eficiente y se obtuvieron los vinilsulfóxidos 7a-c en excelentes rendimientos (Figura 13).

Figura 13. Oxidación con MCPBA para la formación de los vinilsulfóxidos 7a-c



Los vinilsulfóxidos 7a-c se identificaron completamente por espectroscopia de 1H -RMN, ^{13}C -RMN, IR, EM⁺ (Tabla 6).

Tabla 6. Datos espectroscópicos de los vinilsulfóxidos 7a-c

vinilsulfóxidos	Datos espectroscópicos
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO 80°C) δ ppm=8.26-8.25 (d, 1H), 7.58-7.08 (m, 9H), 6.03-6.01 (d, 1H) 3.86 (s, 2H), 2.02 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75 MHz, DMSO 25°C); δ ppm =170.5, 170.4, 139.0, 139.0 135.6, 135.2, 133.8, 132.8, 130.1, 129.8, 129.8, 128.8, 128.8, 128.5, 127.3, 126.2, 109.4, 47.4, 34.4; IR (película,): cm⁻¹=3307, 3055, 3014, 2923, 2836, 1651, 1441, 1287, 1024; EM (IE) (286°C) (EI): m/z (%) M⁺: 377 (10.0), 320 (80), 196(98), 169(100); 124(70).</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO, 80°C) δ ppm=8.25-8.23 (d, 1H), 7.65-7.62 (m, 2H), 7.59-7.52 (m, 3H), 7.13 (s, 1H), 6.72 (s, 1H), 6.04 (s, 2H), 6.03-6.01 (d, 1H), 4.44 (s, 2H), (m, 1H), 2.03 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75.0 MHz, DMSO, 25°C): se observó como mezcla de rotámeros; δ ppm =170.4, 170.1, 147.6, 147.4, 147.2, 143.6, 143.1, 130.7, 130.6, 129.4, 129.2, 129.1, 128.8, 123.9, 123.8, 112.7, 112.5, 112.3, 108.4, 108.0, 102.1, 101.9, 52.6, 52.0, 47.7, 40.8, 40.3, 38.7, 21.4, 21.1; IR (película,): cm⁻¹= 3056, 2920, 1649, 1478, 1238, 1037; EM (IE) (278°C) (EI): m/z (%) M⁺: 422 (2.5), 320 (80), 193(98), 169(100); 124(70).</p>
	<p>¹H-RMN (300 MHz, DMSO, 80°C) δ ppm=7.61-7.51 (m, 5H), 7.12 (s, 1H), 6.76 (s, 1H), 4.47 (s, 2H), 3.78 (s, 3H), 3.72 (s, 3H), 3.66-3.36 (m, 2H), 3.20-2.90 (m, 2H), 2.04 (s, 3H); ¹³C-RMN y DEPT (75.4 MHz, DMSO, 25°C): se observó como mezcla de rotámeros; δ ppm =170.3, 169.9, 148.9, 148.7, 148.5, 148.3, 143.6, 143.1, 130.7, 130.6, 129.1, 129.0, 128.0, 127.2, 123.7, 123.7, 116.0, 115.6, 112.7, 112.0, 55.9, 55.7, 54.8, 52.8, 51.9, 47.1, 40.4, 38.5, 21.4, 21.1; IR (película,): cm⁻¹= 2932, 1649, 1508, 1440, 1263, 1212, 1163, 1038, 751; EM (IE) (68.3°C): m/z (%) M⁺: 437(2.9), 422 (5), 397 (8), 382 (15), 314 (15), 272(10), 229 (100), 206 (10), 192(10).</p>

IV. Conclusión

Se han sintetizado 3 diferentes fenilsulfóxidosvinilacetamidas **7a-c**, por medio de procedimientos sintéticos conocidos y en buen rendimiento en cada una de las etapas de síntesis. Los resultados indican que la metodología es viable para seguir con la etapa 2 de ciclación radicalaria.

V. Referencias Bibliográficas

- Ishibashi, H.; Kato, I.; Takeda, Y.; Kogure, M.; Tamura, O. *Chem. Commun.* 2000, 1527.b) Ishibashi, H.; Masatake, I.; Masashi, O.; Masazumi, I. *Tetrahedron Lett.* 1999, 40, 1149-1150.
- Fattorusso, E.; Tagliatela-Scafati, O. *Modern Alkaloids: Structure, Isolation, Synthesis, and Biology*. Ed. Wiley VCH, Weinheim, 2008.
- Wu, Y.-C, Liou, Y. F., Lu, S.-T., Chen, C.-H., Chang, J.-J. and Lee, K.-H. *Planta Medica.* 1989, 55, 163–165,
- De Silva, L. B. 'Medicinal plant research—retrospect and prospect', in R. S. Thakur et al. (eds), Proceedings of International Symposium on Medicinal & Aromatic Plants, Central Institute of Medicinal & Aromatic Plants, Lucknow. 1983.
- Martin, M.L., Diaz, M.T., Montero, M.J., Prieto, P., Roman, L.S. and Cortes, D. *Planta Medica.* 1993, 59, 63–67.
- Grayer, R.J. and Harborne, J.B. 1994. *Phytochemistry.* 37, 19-42.
- Muller, K. and Ziereis, K. 1994. *Planta Medica.* 60, 21–424.
- Robinson, T. 1986. 'The biochemical pharmacology of plant alkaloids', in L. E. Cracker and J. E. Simon (eds), Herbs, Spices, & Medicinal Plants, Vol. 1, Oryx Press, Phoenix.
- Manske, R. H. *Chem. Rev.*, 1942, 30, 145-158. (b) Chrzanowska, M.; Rozwadowska, M. D. *Chem. Rev.* 2004, 104, 3341-3370 (c) Pedrosa, R.; Andrés C.; Iglesias J. M.; Obeso, M. A. *Tetrahedron*, 2001, 57, 4005-4014.
- Pictet, A.; Spengler T. *Chem. Ber.* 1911, 44, 2030.
- Bischler, A.; Napieralsky, B. *Chem. Ber.* 1893, 26, 1903.
- Ikeda, M.; Hamada, M.; Yamashita, T.; Ikegami, F.; Sato, T.; Ishibashi, H. *Synlett* 1998, 1246-1248. (b) Ikeda, M.; Hamada, M.; Yamashita, T.; Matsui, K.; Sato, T.; Ishibashi, H. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1* 1999, 1949.
- Chugaev, L. *Ber.* 1899, 32, 3332.
- Perrin, D. D.; Armarego, W. L. F.; Perrin, D. R. *Purification of laboratory chemicals*. Pergamon Press. 1980.
- Pummerer, R. *Ber.* 1909, 42, 2282-2291. b) Bur, S. K., Padwa, A. *Chem. Rev.* 2004, 104, 2401-2432.
- Ishibashi, H.; Uegaki, M.; Sakai, M.; Takeda, Y. *Tetrahedron* 2001, 57, 2115

Brianda Leticia Ibarra Valdez¹; Miguel Angel Sánchez Rodríguez²
y Omar Calvario Martínez³

CALIDAD E INOCUIDAD PARA EL CULTIVO DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EN EL EMBALSE “EL INFIERNILLO” EN EL ESTADO DE MICHOACÁN

I. Introducción

El cultivo de la tilapia se inició en México en 1964 con la importación de los primeros ejemplares procedentes de los Estados Unidos, los cuales fueron depositados en la estación piscícola de Temascal, Oaxaca. Las especies introducidas fueron la *Tilapia rendalli*, *Oreochromis mossambicus* y *Oreochromis aureus*, las cuales se distribuyeron ampliamente en una gran cantidad de cuerpos de agua naturales y artificiales pertenecientes a las zonas tropical y templada del país. Las tilapias más cultivadas en México son las que tienen hábitos alimentarios macrófagos, como es el caso de *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*. De ellas, la mayor cantidad de alevines producidos en la actualidad corresponde a la especie *Oreochromis niloticus* (Toledo y García, 2000).

El país cuenta con una superficie de 2.9 millones de hectáreas de aguas continentales, en las que se encuentran diferentes embalses como lagos, presas, bordos, etc., inicialmente fueron creados para generar energía eléctrica o como almacén de agua para riego, pero ahora son usados para la producción de alimentos. Al paso del tiempo, estos han sido colonizados por organismos como los peces de los ríos y aunado a esto se han sembrado: trucha, carpa, charal y tilapia (Navarrete *et al.*, 2007 y FAO, 1997).

¹Instituto Tecnológico de Mazatlán, Mazatlán, SIN/ pely_roja2@hotmail.com; ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental, Estero del Yugo Mazatlán, SIN/ ocalvario@ciad.mx; ³Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental. Estero del Yugo Mazatlán, SIN/ msanchez@ciad.mx



En la última década ha aumentado considerablemente el interés del público y de los gobiernos de diversos países, incluido México por la forma en la que se producen los alimentos para el consumo humano, los cuales deben estar libres de cualquier característica que ponga en riesgo la salud de los consumidores. Los casos de intoxicación por consumo de alimentos contaminados y los casos de fraudes relacionados con la calidad de los alimentos ocurridos en diversos países, han aumentado la preocupación de los consumidores que demandan a los gobiernos mejoras en las leyes actuales para establecer controles más eficientes en materia de inocuidad de los alimentos (García y Calvario, 2008).

Es de suma importancia conocer la calidad sanitaria de las tilapias que son cultivadas y producidas en el embalse El Infiernillo ya que con esta garantizamos la inocuidad de dichos peces y a su vez evitamos la contaminación de los consumidores y de los mismos pescadores que se alimentan con este tipo de producto.

También es importante rescatar que el agua del embalse cuente con las condiciones óptimas no solo para el desarrollo de las tilapias, sino también de su cultivo, y para confirmarlo se realizarán algunos análisis.

Por lo tanto, el presente trabajo pretende evaluar la calidad del agua en el embalse para saber si cuenta con las condiciones óptimas para el cultivo de la tilapia y los posibles contaminantes físicos y químicos que puedan afectar la inocuidad del cultivo.

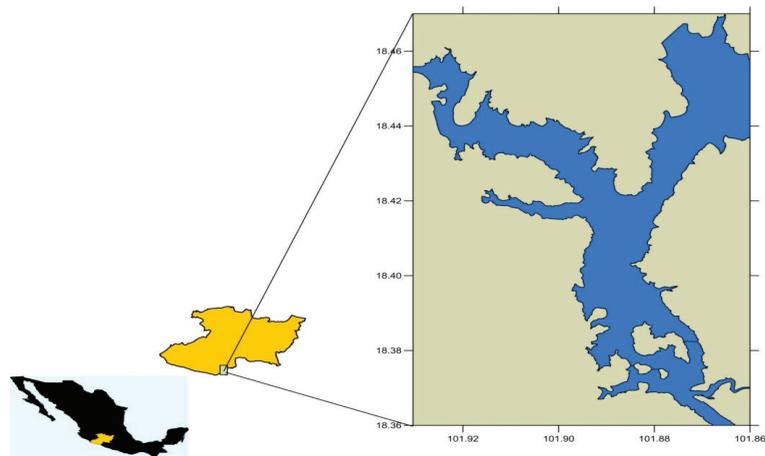
II. Materiales y Métodos

Área de estudio

El embalse “El Infiernillo”, ubicada en los municipios de Arteaga, La Huacana y Churumuco del Estado de Michoacán y en el municipio de Coahuayutla del Estado de Guerrero, es un embalse artificial construido por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en el periodo agosto 1962 – diciembre 1963 y puesta en operación el 15 de junio de 1964, con el propósito de captar agua para la generación de energía eléctrica, aprovechamiento para el riego y como medio para el control de avenidas como se muestra en la figura 1 (Manzollillo y Egea, 2001).



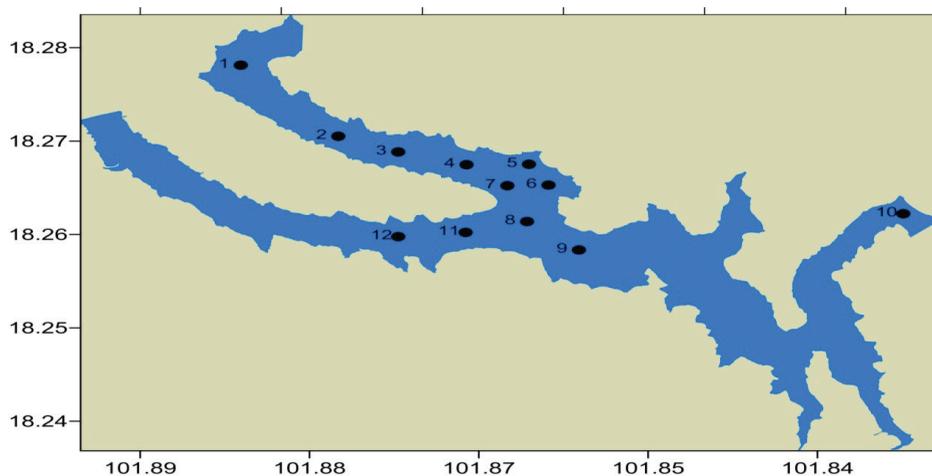
Figura 1. Ubicación geográfica del embalse “El Infiernillo”, Michoacán.



La parte baja del embalse “El Infiernillo”, se caracteriza por presentar una alta proporción de taxa endémicos así como plantas y mamíferos de distribución restringida. La región presenta gran fragmentación y las áreas que rodean al embalse presentan vegetación de selva baja caducifolia con vegetación secundaria, encontrando en la parte norte agricultura de temporal así como porciones de pastizales inducidos (Vega, 2012).

La medición de perfiles de profundidad se realizó cercano a la cortina con 12 puntos de muestreo (fig. 2), en tres periodos, el primero el 24 de febrero del 2013, el segundo el 18 de mayo del 2013 y el tercero el 27 de junio del 2013.

Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo en el embalse “El Infiernillo”, Michoacán



El procesamiento de las mediciones se realizó en el Laboratorio de Química y Productividad Acuática (LQyPA) del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) A.C. Unidad Mazatlán mediante el uso de una sonda multiparamétrica marca Hach modelo DS 5X, desde la superficie del cuerpo de agua hasta el fondo del mismo (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua y método analítico que se utilizó

Análisis de agua	Método analítico
Temperatura	Hydrolab DS5X
pH	Hydrolab DS5X
Salinidad	Hydrolab DS5X
Conductividad eléctrica	Hydrolab DS5X
Oxígeno disuelto	Hydrolab DS5X
% de saturación de oxígeno	Hydrolab DS5X

Para determinar la inocuidad del agua y musculo, se realizaron colectas de muestras de agua y músculo de tilapia para los análisis. La colecta de muestras siguió las intrusiones recomendadas por el personal del laboratorio de análisis de muestras (Laboratorio FERMI) acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). Las técnicas utilizadas se muestran en las tablas 3 y 4:

Tabla 2. Análisis acreditados de metales y microbiológicos de agua por el laboratorio FERMI

Análisis de agua	Método analítico
Metales	
Aluminio, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)
Arsénico, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)
Cadmio, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)
Cobre, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)
Cromo, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)
Manganeso, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)
Mercurio, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)
Níquel, mg/L	EPA 6010B-1996 (I)
Plomo, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)
Microbiológicos	
Bacterias mesofílicas aerobias, UFC/mL	NOM-092-SSA1-1994
Coliformes fecales, NMP/100 mL	NMX-AA-042-1987
Vibrio cholerae. en 50 mL	Compendium of meth for the microbiolog examin of food
Salmonella spp. en 25 mL	NOM-114-SSA1-1994
Staphylococcus aureus, UFC/mL	NOM-115-SSA1-1994

Tabla 3. Análisis acreditados de metales, químicos y microbiológicos en musculo de tilapia por el laboratorio FERMI

Análisis de músculo de Tilapia	Método analítico
Metales	
Cadmio, mg/kg	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B10
Plomo, mg/kg	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B10
Químicos	
Nitrógeno amoniacal, mg/100g	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B9
Microbiológicos	
Coliformes fecales, NMP/g	NMX-242-SSA1-2009. A.N.B17
Salmonella spp. en 25 g	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B14
Staphylococcus aureus, UFC/g	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B15

III. Análisis y Discusión de Resultados

Perfiles del 24 de febrero del 2013

Temperatura

Los perfiles de temperatura que se efectuaron en la cortina del embalse El Infiernillo arrojaron datos que van desde un máximo de 27.71°C en la estación 8 y mínimos de 22.90 °C en la estación 1, teniendo una similitud entre cada columna de cada perfil, se puede notar que en este parámetro la profundidad no afecta, ya que desde los primeros dos metros el valor se mantiene constante a 26 °C hasta una profundidad de 60 m por lo tanto se mantienen dentro del rango optimo descrito por El-Sayed (2006) el cual nos dice que la tilapia tiene un rango óptimo de 25 a 30 °C, así mismo Saavedra Martínez (2006) nos menciona que la temperatura optima es de 25 a 32 °C.

Oxígeno disuelto

El comportamiento del oxígeno disuelto es muy similar en la mayor parte de la presa, ya que se observa que en la mayoría de los perfiles a partir de los 10 metros de profundidad la concentración de oxígeno se mantiene en 5 mg/L hasta una profundidad de 50 m , solo se presenta una variación en la estación 8, la cual demuestra que después de los 55 metros de profundidad, el valor decrece de 5 mg/L hasta un mínimo de 0.9 mg/L, de acuerdo a lo establecido por Saavedra Martínez (2006) el

oxígeno disuelto debe tener valores de 5.0 a 9.0 mg/L para el óptimo desarrollo de la tilapia, García-Ortega y Calvario-Martínez (2008) varia un poco en su rango optimo ya que ellos nos mencionen que la tilapia puede desarrollarse mejor en valores por arriba de 4.5 mg/L, así también, se cumple con el límite establecido por los criterios ecológicos de calidad del agua, CECA (1989) en lo referente a la protección de la vida acuática en agua dulce de 5 mg/L.

Porcentaje de saturación de oxígeno

Los valores de los perfiles de % de saturación de oxígeno son muy similares en sus concentraciones, ya que tienen un máximo de 125.60 mg/L, siendo importante señalar que en la estación 8 se nota un cambio a partir de los 50 metros de profundidad, donde la concentración disminuye hasta un mínimo de 11.30 mg/L, se puede observar que a partir de los 10 metros de la concentración de % de saturación de oxígeno se mantiene constante.

Salinidad

La salinidad observada en este perfil fue muy constante y similar en todas las estaciones, se mantuvo en valores máximos de 0.30 UPS y de nuevo la profundidad no afecto las concentraciones de este parámetro, solo en la estación 7 se puede notar un cambio ya que se obtuvo una concentración mínima de 0.01 UPS, el valor optimo que nos recomienda EL-Sayed (2006) menciona que los valores deben estar entre los 5 y 10 UPS lo cual en este caso los valores salieron muy por debajo de lo óptimo para el desarrollo normal de la tilapia, aunque la tilapia puede crecer en valores muy bajos de salinidad.

Potencial de hidrogeno (pH)

Según lo establecido por Wicki (1997), los valores óptimos de pH deben ser de 6.5 a 8.5, aunque Saavedra Martínez nos menciona que el pH óptimo es de 6.0 a 9.0. En relación con los valores de pH, se encontraron en un rango poco variable en toda la presa, que están entre un mínimo de 7.1 y un máximo de 8.2, el comportamiento es muy similar, ya que en los primeros 10 metros el valor baja un poco y a partir de ahí se mantiene en un rango de 7.5 y 7.6, aunque presenta mucho ruido durante su desarrollo, lo cual es contrario en las estaciones 11 y 12, ya que en éstas se observa más linealidad teniendo valores de 7.6.

El embalse El Infiernillo zona de la cortina, presenta valores que son adecuados para la óptima producción de tilapia según los autores antes mencionados. Es importante mencionar, que el pH de esta presa, disminuye conforme aumenta su profundidad.

Conductividad eléctrica

Se observa como la mayoría de los perfiles comienzan con 545 mS/cm, aunque en la estación 1 se puede notar como la conductividad eléctrica tiene el valor máximo en la superficie con 582 mS/cm, la cual decrece y se mantiene estable en los primeros 10 metros, esto no ocurre en las estaciones 5, 6, y 7, donde hay un decremento y después un incremento, la estación 10 pertenece al río San Antonio y sus valores se mantienen estable en los primeros 10 metros, teniendo un mínimo de 538 mS/cm, en este parámetro la profundidad no afecta a las concentraciones.

Perfiles del 18 de Mayo del 2013

Temperatura

Según los perfiles de temperatura, se cumple con los criterios establecidos por El-Sayed (2006) que indica temperaturas ideales en el rango de 25 a 30 °C. Superficialmente se encontró una temperatura promedio de 27.5 °C en todas las estaciones mientras que a lo largo de la columna de agua la temperatura promedio fue de 25.8 °C aproximadamente hasta los 10 metros, al ir aumentando la profundidad la temperatura fue disminuyendo poco, pues en los perfiles se puede apreciar que al llegar a la máxima profundidad de cada estación la temperatura no disminuyó más de los 25.5 °C.

Oxígeno disuelto

Los perfiles de oxígeno disuelto para el embalse El Infiernillo muestran que el oxígeno disuelto de la superficie va de 8 a 8.5 mg/L en las 12 estaciones, concentración que va disminuyendo conforme aumenta la profundidad, pues a los 5 metros de profundidad existe un decremento notorio, pues se observa un promedio de 4 mg/L aproximadamente en todas las estaciones a excepción de la estación 10, la cual a los 10 metros de profundidad tiene una concentración de oxígeno disuelto de casi 2 mg/L, cabe mencionar que esta estación es la menos profunda de la presa con no más de 35 metros de profundidad y que se ubica sobre la entrada a la presa del río San Antonio. Es importante señalar que al aumentar la profundidad, no se observa una disminución de oxígeno disuelto, pero tampoco sobrepasa los 5 mg/L. De acuerdo a lo establecido por Saavedra Martínez (2006), que indica que las concentraciones óptimas de oxígeno disuelto para el óptimo desarrollo de la tilapia van de 5.00 a 9.00 mg/L, algunas zonas a partir de los 5 metros de profundidad se salen del rango, pero esto no afecta directamente al desarrollo de las tilapias, ya que su decremento es menor a 1 mg/L. En lo referentes a los establecido por los criterios ecológicos de calidad del agua, CECA (1989), la cual menciona que la concentración de oxígeno disuelto debe encontrarse en 5 mg/L en lo referente a la protección de la vida acuática en agua dulce, por lo que esto se cumple prácticamente en todas las estaciones sobre la zona superficial y hasta los 5 metros, excepto para la estación 10 en la que se cumple únicamente hasta los 3 metros de profundidad.

Porcentaje de saturación de oxígeno

Los valores de los perfiles de % de saturación de oxígeno para el embalse El Infiernillo en la parte superficial de todas las estaciones de muestreo tiene una concentración de 110% Sat., aproximadamente, saturación que va disminuyendo bruscamente conforme la profundidad aumenta, al llegar aproximadamente a los 10 metros el % de saturación de oxígeno se encuentra alrededor de 50% Sat. en las estaciones 1 a la 8, 11 y 12, mientras que en la estación 9 esta concentración disminuye a 45% Sat., aproximadamente y la estación 10 disminuye hasta 20% Sat., al aumentar aún más (de los 20 a 60 metros de profundidad) la profundidad la concentración de % de saturación de oxígeno en la mayoría de las estaciones aumenta aproximadamente a 60% Sat.

Salinidad

La salinidad observada en este perfil fue muy constante y similar en todas las estaciones, se mantuvo en valores de alrededor de 0.26 UPS en los primeros 10 metros de profundidad. La profundidad no

afecto las concentraciones de este parámetro, solo en la estación 12 se aprecia que el valor se mantuvo hasta los 20 metros y de ahí empezó a subir al mismo rango que las demás estaciones, el valor óptimo que EL-Sayed (2006) menciona, es que los valores deben estar entre los 5 y 10 UPS, en este embalse los valores salieron por debajo de lo establecido pero esto no influye en el desarrollo de la tilapia.

Potencial de hidrogeno (pH)

En el embalse El Infiernillo, el pH en las 12 estaciones de muestreo en la superficie, fue de aproximadamente 7.9. Conforme aumentaba la profundidad, el pH tendía a disminuir, a tal grado que en profundidades de 5 metros, el pH era de aproximadamente 7.7 en la mayoría de las estaciones, al llegar a 10 metros, de 7.5 en casi todas las estaciones, mientras que en los puntos de muestreo 1 y 5 el pH fue de aproximadamente 7.9 a los 10 metros de profundidad. Al llegar a una profundidad alrededor de los 25 metros, el pH empieza a ser constante, aunque según los perfiles en las estaciones 1, 2, 4, 11 y 12 al alcanzar la máxima profundidad de cada columna de agua el pH disminuye bruscamente, alcanzando en la estación 2 un pH de 5.5 como mínimo.

Según Wicki (1997) el pH óptimo en los cuerpos de agua corresponde al rango de 6.5 a 8.5, mientras que Nandlal and Pickering (2004) indican que estos valores deben estar de 6.5 a 9. La variación indicada entre estos autores no es mucha y según los valores arrojados en los perfiles de pH, las estaciones de muestreo de este embalse entran en ambos límites hasta la profundidad de 20 metros.

Conductividad eléctrica

Los perfiles de conductividad eléctrica para el embalse El Infiernillo muestran que la conductividad eléctrica superficial medida en las 12 estaciones de muestreo es aproximadamente 505 mS/cm, al aumentar la profundidad esta conductividad eléctrica va aumentando teniendo un promedio de 520 mS/cm a los 10 metros de profundidad. Cabe mencionar que la conductividad eléctrica sigue aumentando conforme la profundidad se incrementa, pues a los 20 metros de profundidad la conductividad eléctrica se encuentra alrededor de los 530 mS/cm y sigue aumentando hasta los 540 mS/cm en las profundidades máximas de las columnas de agua muestreadas.

Perfiles del 27 de junio del 2013

Temperatura

Los perfiles de temperatura que se realizaron en el embalse El Infiernillo muestran que en superficie se presentan valores de aproximadamente 29.5 °C en todas las estaciones, excepto en la estación 10 que tiene 29 °C, también se observa que los valores decrecen de una forma similar en todas las estaciones, mientras que al llegar a los 40 metros de profundidad los valores se mantienen entre 25 y 26°C, descartando obviamente las estaciones que no llegan hasta esa profundidad como es el caso de las estaciones 6, 9, 10 y 12. por tal motivo todas las estaciones se mantienen dentro del rango óptimo descrito por El-Sayed (2006) el cual nos dice que la tilapia tiene un rango óptimo de 25 a 30°C, así mismo Saavedra Martínez (2006) nos menciona que la temperatura óptima es de 25 a 32°C.

Oxígeno disuelto

El comportamiento del oxígeno disuelto es muy similar en la mayor parte de la presa, ya que se observa que en la mayoría de los perfiles la concentración comienza en aproximadamente 10 mg/L, solo se presenta una variación en la estación 10, la cual comienza marcando 2 mg/L y se muestra como conforme hay más profundidad el valor decrece hasta tal punto que llegan al valor de 0 mg/L, esto sucede en la profundidad de 40 metros para las estaciones 7, 8 y 11, y en profundidad de 50 metros sucede en las estaciones 1, 2, 3, 4 y 5. Pero aun así eso no importa porque el desarrollo de la tilapia se dará en los primeros 10 metros, en los cuales se observa que todas las estaciones marcan valores de 4.5 mg/L, descartando la estación 10, la cual en sus primeros 10 metros se encontraron valores por debajo de los 4 mg/L.

De acuerdo a lo establecido por García-Ortega y Calvario-Martínez (2008) nos mencionan que la tilapia puede desarrollarse mejor en valores por arriba de 4.5 mg/L, así también, se cumple con el límite establecido por los criterios ecológicos de calidad del agua, CECA (1989) en lo referente a la protección de la vida acuática en agua dulce de 5 mg/L.

Porcentaje de saturación de oxígeno

Los valores de los perfiles de % de saturación de oxígeno son muy similares en sus concentraciones, en la zona superficial presentan valores de entre los 130 y 140% Sat., siendo importante señalar que en la estación 10 su valor superficial es de aproximadamente 30% Sat. Se puede observar que en los primeros 10 metros de profundidad el valor decrece hasta 50% sat, exceptuando la estación 10 que presenta valores por debajo de los 50% sat.

Salinidad

La salinidad observada en este perfil fue muy constante y similar en todas las estaciones, se mantuvo en valores máximos de 0.27 UPS y de nuevo la profundidad no afectó las concentraciones de este parámetro, solo en la estación 10 se puede notar un cambio ya que se obtuvieron concentraciones menores a los 0.18 UPS, el valor óptimo que nos recomienda EL-Sayed (2006) menciona que los valores deben estar entre los 5 y 10 UPS lo cual en este caso los valores salieron muy por debajo de lo óptimo para el desarrollo normal de la tilapia, aunque la tilapia puede crecer en valores muy bajos de salinidad.

Potencial de hidrogeno (pH)

Según lo establecido por Wicki (1997), los valores óptimos de pH deben ser de 6.5 a 8.5, aunque Saavedra Martínez nos menciona que el pH óptimo es de 6.0 a 9.0. En relación con los valores de pH, se encontraron en un rango poco variable en toda la presa, que están entre un mínimo de 7.44 y un máximo de 8.78, el comportamiento es muy similar, ya que en los primeros 10 metros el valor baja casi hasta 8 en las primeras 8 estaciones, mientras que en las estaciones 9, 10 y 11, su valor baja hasta 8.5 y en la estación 10 hasta 7.5.

El embalse El Infiernillo zona de la cortina, presenta valores que son adecuados para la óptima pro-

ducción de tilapia según los autores antes mencionados. Es importante mencionar, que el pH de esta presa, disminuye conforme aumenta su profundidad.

Conductividad eléctrica

Se observa como la mayoría de los perfiles comienzan entre 500 y 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y se observa como en los primeros 10 metros los valores aumentan hasta casi 600 mS/cm , para comenzar a decrecer hasta mantenerse en su valor de superficie en la profundidad de 40 a 50 metros aproximadamente. Destaca la estación 10 con concentraciones en superficie de 363.50 mS/cm y en los primeros 10 metros de profundidad aumentan hasta 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aproximadamente, en este parámetro la profundidad no afecta a las concentraciones.

Análisis de metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos y biológicos por un laboratorio acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación

La colecta de musculo de tilapia y agua se realizó el 4 de diciembre del 2012 siguiendo los lineamientos establecidos por el laboratorio FERMI (Laboratorio acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación, EMA). Los resultados de la muestra de musculo de tilapia del embalse se muestran en la Tabla 13. Como se puede observar a detalle en dicha tabla, tanto los resultados de metales, como los químicos y microbiológicos en musculo de tilapia, ninguno sobrepasa el límite máximo permisible de la norma NOM-242-SSA1-2009. Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. Por otro lado, en lo que respecta a la muestra de agua, esta siguió las recomendaciones establecidas por Schlotfeldt y Alderman (1995), como se puede observar en la Tabla 14, tampoco ninguno de los análisis de metales y microbiológicos determinados supero dichas recomendaciones.

Tabla 4. Análisis acreditados por FERMI de metales, químicos y microbiológicos en músculo de tilapia en el embalse El Infiernillo, Michoacán

Análisis de músculo de Tilapia	Método analítico	Embalse El Infiernillo	NOM-242-SSA1-2009*
Metales			
Cadmio, mg/kg	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B10	ND	0.5
Plomo, mg/kg	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B10	ND	0.5
Químicos			
Nitrógeno amoniacal, mg/100g	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B9	23.26	35
Microbiológicos			
Coliformes fecales, NMP/g	NMX-242-SSA1-2009. A.N.B17	< 3	400
Salmonella spp. en 25 g	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B14	Ausente	Ausente
Staphylococcus aureus, UFC/g	NOM-242-SSA1-2009. A.N.B15	< 100	1000 UFC/g
<p><i>* NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.</i></p>			

**Tabla 5. Análisis acreditados por FERMI de metales y microbiológicos de agua en el embalse
El Infiernillo, Michoacán**

Análisis de agua	Método analítico	Embalse El Infiernillo	Schlotfeldt y Alderman, 1995*
Metales			
Aluminio, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)	ND	0.100
Arsénico, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)	ND	0.050
Cadmio, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)	ND	0.004
Cobre, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)	ND	0.100
Cromo, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)	ND	0.050
Manganeso, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)	0.0114	0.100
Mercurio, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)	ND	0.050
Níquel, mg/L	EPA 6010B-1996 (I)	ND	0.020
Plomo, mg/L	NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010B-1996 (I)	ND	0.030
Microbiológicos			
Bacterias mesofilicas aerobias, UFC/mL	NOM-092-SSA1-1994	200	
Coliformes fecales, NMP/100 mL	NMX-AA-042-1987	ND	
Salmonella spp. en 25 mL	NOM-114-SSA1-1994	Ausencia	
Staphylococcus aureus, UFC/mL	NOM-115-SSA1-1994	< 100	
<p><i>* Schlotfeldt, H.J. y D.J. Alderman. 1995. What should I do? A practical guide for the freshwater fish farmer. Bulletin of the European Association of Fish Pathologists 15(4). 60 p.</i></p>			

IV. Conclusiones

Los resultados obtenidos de los perfiles muestran que el embalse El Infiernillo cuenta con condiciones óptimas en lo que respecta a la calidad del agua para el crecimiento de la tilapia. Conforme a los resultados obtenidos de inocuidad de músculo y agua se observa que el embalse se encuentra libre de contaminación de metales, químicos y microbiológicos, por lo que se observó ausencia en la mayoría de los análisis o muy bajas concentraciones.

Agradecimientos

Se agradece al Proyecto FORDECYT No. 172471 “Sistema Regional de Producción Intensiva de Tilapia para Mercados de Alto Valor Comercial e Impulsar el Desarrollo Económico y Social en el Occidente de México” por el apoyo económico otorgado para la realización del presente trabajo.

V. Referencias Bibliográficas

CECA. 1989. Criterios ecológicos de calidad del agua. Publicada en el D.O.F. el 13 de diciembre de 1989.

El-Sayed, Abdel-Fattah M. 2006. Tilapia culture. Cabi Publishing Oxfordshire U.K. 277 p.

FAO. 1997. La pesca continental. Orientaciones técnicas para la pesca responsable. No. 6 Roma, FAO. Dpto de Pesca. México. 49 p.

García, A.; Calvario, O. 2008. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. Programa de Inocuidad de Alimentos SENASICA/SAGARPA, México D.F., México. 156 p. ISBN-13: 978-968-5384-14-8

Manzollilo, J. y Egea, O. 2001. Construcciones eléctricas. México.

Nandlal, S. and Pickering, T. 2004. Tilapia fish farming in Pacific Island countries. Volume 1. Tilapia hatchery operation. Noumea, New Caledonia: Secretariat of the Pacific Community. 32 pp.

Navarrete, S.N.A.; Aguilar, R. J.; González, D. M.; Elías, F. G. 2007 a. Espectro trófico y trama trófica de la ictiofauna del Embalse San Miguel Arco, Soyaniquilpan, Estado de México. Revista de Zoología (18):1-12

Norma Oficial Mexicana NOM-114-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la determinación de salmonella en alimentos.

Norma Oficial Mexicana NOM-115-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la Determinación de Staphylococcus Aureus en Alimentos.

Norma Oficial Mexicana NMX-AA-42-1987. Calidad del agua determinacion del numero más probable (nmp) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva.

Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación



de Cadmio, Arsénico, Plomo, Estaño, Cobre, Fierro, Zinc y Mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.

Saavedra Martínez M. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Managua, Nicaragua.

Shlotfeldt, H.J. y D.J. Alderman. 1995. What should I do? A practical guide for the freshwater fish farmer. Bulletin of the European Association of Fish Pathologists 15(4). 60 p.

Toledo, S.; García, M. 2000. Nutrición y alimentación de tilapia cultivada en América latina y el Caribe. La Habana, Cuba.

Vega, A. 2012. Reservas Ecológicas en México. México.

Wicki. G.A. 1997. Estudio de desarrollo y producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Secretaria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Pesca, Buenos Aires Argentina. 11 p.



RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE AREA FOLIAR, BIOMASA Y RENDIMIENTO DEL GARBANZO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE HILERAS Y NITRÓGENO

Resumen

El garbanzo es fuente de proteína, fibra, minerales y vitaminas. Actualmente México ocupa el tercer lugar mundial en producción, parte de esta se obtiene bajo condiciones de humedad residual, en la cual el rendimiento se ve limitado por la falta de fertilización y densidades de población bajas. La aplicación de nitrógeno (N) y disminución de la distancia entre hilera (D), podría incrementarlo. Mediante estas prácticas se puede estimular el índice de área foliar (IAF), el cual se relaciona con la biomasa total (BT) y rendimiento de grano (RG). El objetivo fue determinar la relación entre el IAF, BT, RG en función de la D y N. El estudio se estableció bajo condiciones de humedad residual en Huitzuc Gro., Méx., a 40 y 80 cm de distancia entre hileras (D40 y D80), fertilizado con 0, 50 y 100 kg N ha⁻¹ (N0, N50 y N100). A los 88 días después de la siembra (dds) se midió el IAF y a madurez fisiológica la BT y RG. Los resultados se analizaron con SAS y Tukey al 5% de probabilidad. Se aplicó un análisis de regresión a las variables evaluadas. Bajo condiciones de humedad residual el índice de área foliar del garbanzo presenta una relación más alta con biomasa total y más baja con el rendimiento de grano. Al reducir la distancia entre hilera a 40 cm y aplicar 100 kg de N ha⁻¹, se incrementa el índice de área foliar y en consecuencia la biomasa total y el rendimiento de grano.

Palabras clave adicionales: *Cicer arietinum*, fenología, humedad residual.

Introducción

Una de las formas del consumo del garbanzo es en grano seco y presenta alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales. Es originario de Turquía, se cultiva principalmente en India, Turquía y México (FAOSTAT, 2011). En la República Mexicana la producción se concentra en los estados de Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Michoacán, Baja California sur, Jalisco y Guerrero (SIAP, 2011). En el Estado de Guerrero el rendimiento promedio es de 0.6 t ha⁻¹, el cual se considera bajo y se atribuye entre otras causas a densidades bajas de siembra y falta de fertilización nitrogenada. Se ha encontrado que estas prácticas agronómicas pueden modificar el tamaño del aparato fotosintético, representado por el índice de área foliar (IAF) (Escalante y Kohashi, 1982; Escalante, 1999).

En la mayoría de los cultivos, el N ocasiona incrementos en el IAF, lo cual puede ser producto de un mayor número y tamaño de hojas (McCullough *et al.*, 1994). En cereales, el incremento en el número de hojas con N puede deberse a más tallos (Pearman *et al.*, 1977) y expansión foliar (Blanchet *et al.*, 1986; Lemcoff y Loomis, 1986; Muchow, 1988), causada por un mayor número y tamaño de células (Hewitt, 1963). El aumento en el IAF provoca más intercepción de radiación solar, que puede resultar en una actividad fotosintética más elevada y por consiguiente mayor producción de biomasa total y rendimiento de grano (Aguilar *et al.*, 2005).

Son limitados los estudios del efecto de la densidad de población y fertilización nitrogenada sobre IAF, biomasa total y rendimiento de grano en garbanzo, por lo que el objetivo del presente estudio fue: determinar el efecto de la distancia entre hilera y dosis de nitrógeno sobre el IAF, biomasa total y rendimiento del garbanzo de humedad residual y determinar la relación entre el IAF con la biomasa total y rendimiento de grano.

Materiales y Métodos

La siembra se realizó el 2 de noviembre de 2011 bajo condiciones de humedad residual en Huitzucó, Gro., México (18° N, 99° O y 1086 m de altitud) durante el ciclo Otoño-Invierno 2011. El clima de la región es cálido subhúmedo (AW_1 , García, 2005). El suelo es de textura arcillosa, pH de 7.2, conductividad eléctrica de 0.32 dS m⁻¹, 1.69% de materia orgánica. De acuerdo con Vázquez y Bautista (1993) es bajo en nitrógeno total (0.08%) y medio en fósforo Olsen (10 mg kg⁻¹). Resultaron seis tratamientos de la combinación de dos distancias entre hileras (D) 40 y 80 cm (D40 y D80 respectivamente) y tres niveles de nitrógeno (N): 0, 50 y 100 kg N ha⁻¹ (N0, N50 y N100 respectivamente). Como fuente de N se utilizó el sulfato de amonio (20.5% N).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones.

Durante el ciclo del cultivo se registró la precipitación (mm), temperaturas mínimas (T_{mín.}, °C) y máximas (T_{máx.}, °C), así como los días a la ocurrencia de las fases fenológicas: días a emergencia

(E), a inicio de floración (R1), inicio de fructificación (R2) y a madurez fisiológica (RH), según el criterio presentado en Padilla *et al.* (2008). En tres plantas de cada unidad experimental se determinó el área foliar (AF) en un integrador electrónico (LI-COR 3100) a los 88 días después de la siembra (dds); fecha donde se encuentra el máximo valor en este cultivo (Apáez, 2013). El índice de área foliar (IAF) se calculó a partir de la siguiente ecuación: $IAF = (AF/NP)*DP/100 \text{ dm}^2$, donde AF = área foliar (dm²) del número de plantas muestreadas, NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m⁻² (Escalante y Kohashi, 1993). A madurez fisiológica se registró el rendimiento de grano (RG, g m⁻² al 12% de humedad) y biomasa total (BT, g m⁻²), esta última representa la suma de materia seca (MS) de todos los órganos de la planta. Se aplicó un análisis de regresión entre el IAF, RG y BT. Los datos de las variables se analizaron estadísticamente con el paquete SAS (versión 9.0, 2001) y Tukey al 5% de probabilidad.

Análisis y Discusión de Resultados

Elementos del clima y fenología

Durante el ciclo del cultivo la temperatura mínima (T_{mín}) y máxima (T_{máx}) promedio fueron de 14.9 y 34.8°C respectivamente. Las más altas ocurrieron en la etapa vegetativa del 2 al 22 de noviembre (16.9 y 37 °C para T_{mín} y T_{máx} respectivamente). Posteriormente disminuyeron.

Así, la temperatura más baja se presentó en la decena 7 y 8, con valores medios decenales de 12 y 34°C para T_{mín} y T_{máx} respectivamente, que correspondió al inicio de fructificación (R2). La precipitación acumulada de emergencia (E) a madurez fisiológica (RH) fue de 7 mm y ocurrió al final de la etapa de fructificación. De acuerdo con Benacchio (1982), el rango térmico para el desarrollo del cultivo es de 5 a 35°C, con un óptimo alrededor de 22°C, por lo que la temperatura registrada se considera apropiada para este cultivo. Sin embargo, las dos decenas con temperatura por encima de los 35°C (2 al 23 de noviembre de 2011) pudieron limitar el desarrollo del cultivo.

La ocurrencia de las fases fenológicas fue similar entre tratamiento. Así, la emergencia (E) se presentó a los 10 días después de la siembra (dds), el inicio de floración (R1) a los 55 dds, el inicio de fructificación (R2) a los 67 dds y madurez fisiológica (RH) a los 118 dds. La humedad residual en el suelo disminuyó conforme avanzó el desarrollo del cultivo, de tal manera que al inicio del ciclo fue de 35% y de 15% a RH.

Índice de área foliar, biomasa total y rendimiento de grano

El índice de área foliar máximo (IAF), biomasa total (BT) y rendimiento de grano (RG), mostraron cambios significativos por efecto de distancia entre hileras (D), dosis de nitrógeno (N) y la interacción D * N (Cuadro 1). Con D40 se logró el mayor IAF, BT y RG, con incrementos de 5, 100 y 40%, respecto a D80.

Con N100 los incrementos respecto a N0 fueron de 5, 80 y 53% para IAF, BT y RG respectivamente. En cuanto a la interacción, con D40-N100 se obtuvieron los valores más altos para IAF, BT y RG, 5, 56 y 45% superior a D80-N0.

Estos resultados indican que el N favorece el incremento en el IAF (Lambers y Poorter 1992). Resultados similares fueron reportados por Escalante (1999) en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con aplicación de N. A mayor IAF se intercepta más radiación solar y con esto la actividad fotosintética se incrementa y por consiguiente la acumulación de BT y RG. Resultados similares se han encontrado en girasol (Aguilar *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Índice de área foliar, biomasa total y rendimiento de grano del garbanzo en función de D y N. Huitzoco, Gro., México. Otoño de 2011.

Distancia entre surcos (D, cm)	Nitrógeno			
	(N, kg ha ⁻¹)	IAF	BT (g m ⁻²)	RG (g m ⁻²)
80 (D80)	0 (N0)	4.1c	230c	103c
	50 (N50)	4.1c	370bc	147b
	100 (N100)	4.2b	409bc	149b
40 (D40)	0	4.2b	461bc	141b
	50	4.2b	741b	189 a
	100	4.3 ^a	818a	227 a
D	80 cm	4.1b	336b	133 b
	40 cm	4.3 ^a	673a	186 a
	0	4.1c	340c	122 b
N	50	4.2b	561b	168 a
	100	4.3 ^a	614a	187 a
Media general.		4.2	505	159
Prob. F (DMS)	D	(0.07)**	(57)**	** (22)
	N	(0.07)**	(52)**	** (33)
	D*N	(0.08)*	(52.17)**	** (43)
C.V		7.9	12.1	15

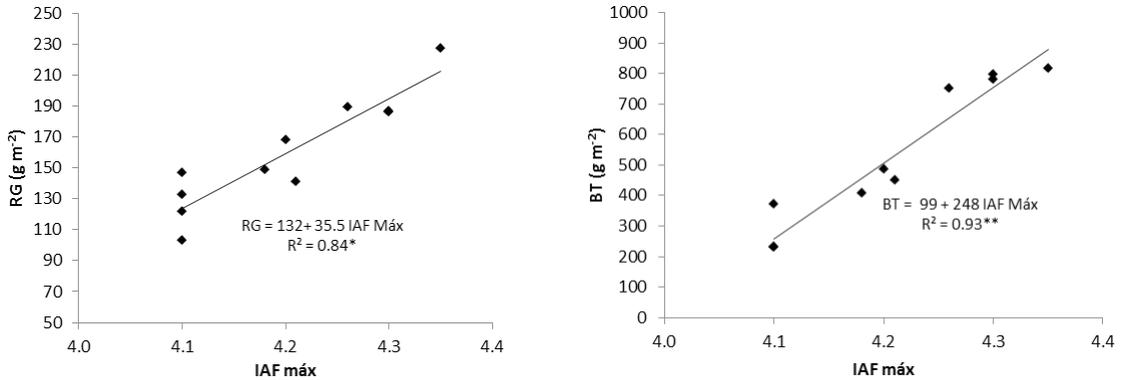
¶*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$). *, ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 , respectivamente. DMS = diferencia mínima significativa, C.V = coeficiente de variación, IAF = índice de área foliar, BT = biomasa total, RG = rendimiento de grano.*

Relación entre índice de área foliar máximo, rendimiento de grano y biomasa total

En la Figura 1 se presenta la relación entre el IAF máx con el rendimiento de grano (RG) y biomasa total (BT). Se encontró una relación lineal positiva entre el IAF máx con la BT ($R^2=0.93^{**}$) y RG ($R^2=0.84^*$). La BT aumentó en 248 g m⁻², el RG en 35.5 g m⁻² por unidad de IAF (Figura 1).

Los resultados indican que al reducir la distancia entre hileras y aplicar nitrógeno, se estimula el área foliar y por lo tanto la capacidad fotosintética del cultivo, lo que genera mayor BT y RG. Respuesta similar encontraron Karim y Fattah (2003), quienes con aplicación de N100 lograron incremento en el IAF y BT. La más baja relación entre el IAF y RG se debe a que además del proceso fotosintético, está involucrado el proceso de translocación (Escalante y Rodríguez, 2010).

Figura 1. Relación entre el IAF máx con el rendimiento de grano (RG) y la biomasa total (BT).
Huitzucu, Gro., México. Otoño de 2011.



Conclusiones

Bajo condiciones de humedad residual el índice de área foliar presenta una relación más alta con la biomasa total y más baja con el rendimiento en grano. Al reducir la distancia entre hilera a 40 cm y aplicación de 100 kg de N ha⁻¹, se incrementa el índice de área foliar y en consecuencia la biomasa total y el rendimiento de grano

Referencias Bibliográficas

Aguilar, L., J. Escalante, L. Fucikovsky, L. Tijerina y E. Mark. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana* 23(3), 303-310.

Apáez, B., M. 2013. Producción del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en función del manejo y ambiente. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. 102 p.

Benacchio, S. S. 1982. Algunas Exigencias Agroecológicas en 58 Especies de Cultivo con Potencial de Producción en el Trópico Americano. FONAIAP–Centro Nal. de Inv. Agropec. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.

- Blanchet, R., G. Cavalie, M. Piquenial, N. Gelfi, Y. Duprat y E. Martínez. 1986. Influence de la nutrition azotée sur l'assimilation nette et la formation du rendement du tournesol. *Helia* 9: 39-45.
- Escalante, E. J. A. y J Kohashi, S. 1982. Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros de crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia*. 48:29-38.
- Escalante, E. J. A. y Kohashi, S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Escalante, E. J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento de girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra*. 17(2): 149-157.
- Escalante E., J. Alberto y María Teresa Rodríguez. 2010. Biomasa, índice de cosecha, componentes de rendimiento en frijol y nitrógeno. *Revista Ciencias Agrícolas Informa*. Universidad Autónoma del Estado de México. 19 (1):5-11.
- FAOSTAT. 2011. Producción mundial de garbanzo. En línea <http://www.faostat.fao.org>. (Consultado el 12 de noviembre de 2012).
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Hewitt, E.J. 1963. The essential nutrient elements requirements and interaction in plants. pp. 137-362. In: F.C. Steward (ed.). *Plant physiology* Vol. III. Academic Press, New York.
- Karim, M. F and Fattah, Q. A. 2003. Dry matter accumulation and partitioning in chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by nitrogen levels and K/N concentrations. *Dhaka Univ. J. Biol. Sci.* 12(2): 115-121.
- Lambers, H y Poorter, H. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.* 23: 187-261.
- Lemcoff, J.H. y R.S. Loomis. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Sci.* 26: 1017-1022.
- Muchow, R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semiarid tropical environment. III. Grain yield and nitrogen accumulation. *Field Crops. Res.* 18: 31-43.
- McCullough, D.E., Ph. Girardin, M. Mihajlovic, A. Aguilera y M. Tollenaar. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new maize hybrid. *Can. J. Plant Sci.* 74: 471-477.
- Padilla, V. I. Valenzuela, V. C. M, Armenta, C. R. A, Salinas P E (2008) Comportamiento Agronómico de Genotipos de Garbanzo en Siembra Tardía en el Valle del Mayo, Sonora, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 43-49.

Pearman, I., S.M. Thomas y G.N. Thorne. 1977. Effects of nitrogen fertilizer on growth and yield of spring wheat. *Ann. Bot.* 41: 93-108.

SIAP. 2011. Avance de siembras y cosechas. [En línea]: <http://www.siap.gob.mx> (Consultado el 12 de noviembre de 2012).

Vázquez, A. A, Bautista, A .B. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos, México. 29 p

*Yasmani Rafael Arenas Julio^{1§}, José Alberto Salvador Escalante Estrada¹,
Carlos Alberto Ortiz Solorio, Víctor Hugo Volke Haller
y Edgar Jesús Morales Rosales.*

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GIRASOL EN RELACIÓN AL NITRÓGENO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

Resumen

El girasol (*Helianthus annuus* L.), es considerado como uno de los cultivos oleaginosos más importantes en la producción de aceite. Las prácticas agronómicas como la fertilización y densidades de población se han generalizado para todos los cultivos para el logro de altos rendimientos. El objetivo del presente estudio fue determinar el análisis de crecimiento y rendimiento de girasol bajo el efecto de nitrógeno y densidad de población en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 50 y 100 kg ha⁻¹ de N y densidades de población de 40, 80 y 120 mil plantas ha⁻¹ (DP40, DP80 y DP120, respectivamente). El diseño fue bloques al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. La temperatura máxima y mínima promedio durante el desarrollo del cultivo fue de 26 y 10°C, respectivamente, con precipitación acumulada de 388 mm. La emergencia se presentó siete días después de la siembra (dds), el inicio de floración a los 63 dds, la madurez fisiológica se presentó a los 120 dds. Con N100 y DP120 se incrementó el número de hojas, índice y duración del área foliar, lo cual provocó mayores tasas de crecimiento del cultivo y por lo tanto, incrementos en la producción de biomasa total y rendimiento de grano. Las combinaciones N100 y DP120 generan el mayor RG m⁻².

Palabras clave: Área foliar, Índices de crecimiento, rendimiento de grano.

¹Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, 56230. Teléfono 01(595) 952 02 00 ext. 1330. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

§ Autor responsable arenas.yasmani@colpos.mx

Introducción

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es uno de los principales cultivos anuales utilizados para la extracción de aceite en el mundo (García y Quinche, 2012). Mediante el uso de prácticas agrícolas como la fertilización nitrogenada y la densidad de población se provee a los cultivos de las condiciones más favorables para la expresión de un mayor rendimiento (Escalante, 1995; Escalante, 1999).

El nitrógeno es el nutriente que en mayor medida limita la producción de girasol, de ahí la importancia de conocer los requerimientos nutricionales y realizar diagnósticos de deficiencias (Díaz-Zorita, 2002). El incremento en la densidad de población genera mayor sombreado, producido por el mayor número de hojas m^{-2} , lo que afecta algunos procesos fisiológicos, como: la velocidad de la fotosíntesis, respiración, fotorrespiración y transpiración. La densidad de población impacta en el desarrollo vegetativo y reproductivo que a su vez influyen directamente en el uso de los recursos, que incluye los niveles de captura y utilización de la radiación solar, agua y nutrientes (Cárcova *et al.*, 2003).

El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas, tales como Peso Seco (W), Área Foliar Total (AF) y Tiempo (T), mientras que las medidas derivadas Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), Relación de Área Foliar (RAF), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Área Foliar Específica (AFE), Índice de Área Foliar (IAF) y Duración de Área Foliar (DAF) son calculadas a partir de las medidas directas (Hunt, 1978).

Estos índices permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Tekaling y Hammes, 2005).

Análisis de crecimiento.- Es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo, 1989). El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que influyen en el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el tiempo (Gardner *et al.*, 1985).

El resultado de estos procesos es la acumulación de materia seca por planta, la cual también depende de la magnitud del área foliar por unidad de superficie (IAF), duración de área foliar (DAF) y tasa de asimilación neta (TAN) (Escalante y Kohashi, 1993; Aguilar *et al.*, 2005; Olalde, 2000). Sin embargo, al incrementar la densidad de población aumenta el auto sombreado, lo que reduce el acceso de la luz conforme progresa el ciclo del cultivo e incrementa la senescencia de las hojas, por lo cual la TAN disminuye, así también retrasa la floración, afecta la altura de la planta, el diámetro del capítulo y tamaño de la semilla (Scott y Batchelor, 1979; Feoli, 1993; Escalante, 1999; Johnson, 2002).

Asignación de fotoasimilados. Las plantas a diferencia de los animales, constan de órganos auto-

tróficos (fuente) que producen azúcares y aminoácidos a partir de los compuestos resultantes de la fotosíntesis, y órganos heterotróficos (demanda) que consumen estos productos en crecimiento, almacenamiento y reproducción.

Fuente y demanda. La fuente se refiere a los tejidos de las planta que son productores netos de carbono, generalmente tejidos verdes fotosintéticos que son exportadores netos de asimilados. En plantas como la dalia (Arenas *et al.*, 2011) y papa (Castellanos *et al.*, 2010) son principalmente las hojas y los tallos. Los tejidos encargados de la demanda son importadores netos de asimilados, y consisten de órganos que crecen rápidamente tales como los meristemos, hojas inmaduras y tejidos de almacenamiento como los tubérculos, semillas o raíces (Arenas *et al.*, 2011). La demanda es un usuario neto de carbono, para los procesos de respiración, crecimiento y almacenamiento de compuestos de carbono. La potencia de la demanda se refiere a la habilidad de los órganos encargados de la demanda para atraer o acumular compuestos de carbono. En plantas como la dalia y papa, el órgano demanda de mayor interés es el tubérculo (Arenas *et al.*, 2011; Castellanos *et al.*, 2010).

El metabolismo de la fuente y la demanda están estrechamente acoplados porque la información de disponibilidad de asimilados en cada órgano, es percibida y usada para orquestrar la expresión de genes. Esta coordinación es necesaria para evitar amplias fluctuaciones y desbalances entre el abastecimiento y la demanda. Bajas demandas de fotosintatos pueden acumular asimilados en las hojas fuente, causando la represión de genes que codifican para componentes fotosintéticos y resulta en una disminución de la capacidad fotosintética, por consiguiente, la capacidad de la demanda puede regular la actividad de la fuente (Foyer y Paul, 2001). Por lo cual el objetivo de este trabajo fue determinar el análisis de crecimiento y rendimiento de girasol bajo el efecto de nitrógeno y densidad de población en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en tres sitios del campus experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' N y 98° 54' O, 2250 m de altitud), con clima Cw que corresponde al menos seco de los áridos con régimen de lluvias en verano, temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 500 mm (García, 2005); a los suelos evaluados se les efectuó un análisis físico y químico previo al establecimiento del experimento. La siembra del cultivar Victoria se llevó a cabo el 25 de mayo de 2011, los tratamientos consistieron en tres niveles de fertilización nitrogenada de: 0, 50 y 100 kg ha⁻¹ y densidades de DP= 40, DP= 80 y DP= 120 mil plantas ha⁻¹ generando 9 tratamientos. El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. A la parcela mayor el nivel de nitrógeno y a la parcela menor las densidades de población. Durante el desarrollo del experimento se registraron la temperatura máxima y mínima diaria, la evaporación y la precipitación. Las etapas fenológicas registradas fueron: días a emergencia (E), a inicio de anthesis (R5) y a madurez fisiológica (R9); el criterio utilizado para determinar estas variables fue el de (Schneiter y Miller, 1981).

A la cosecha se registró el rendimiento de grano (RG) y sus componentes, como área del capítulo (AC), peso de 100 semillas (P100S), biomasa total (BT) (suma del peso de receptáculo + peso seco de tallo + peso seco de hoja + peso de rendimiento) e Índice de cosecha (IC).

Índices de crecimiento. Mediante muestreos periódicos de tres plantas por unidad experimental a 25, 52, 77 y 96 días después de la siembra (DDS), se determinaron altura, número de hojas por planta, área foliar, índice de área foliar, duración del área foliar y biomasa seca por planta y por unidad de superficie, representada por la suma de la materia seca acumulada en lámina foliar, tallo y en su momento, capítulo. Para obtener el peso seco, se colocó el material vegetal en una estufa con circulación forzada de aire a 80°C, por 72 h. A la cosecha (120 DDS) se evaluó el rendimiento por planta y por m². El área foliar se determinó mediante un integrador electrónico de área, modelo Li-3100 (Licor, Inc. Lincoln, NE, EE UU). El índice de área foliar (IAF) se calculó con la expresión: IAF = (área foliar por planta*densidad de población)/unidad de superficie. La duración de área foliar (DAF) se calculó mediante la ecuación:

$$DAF = [(IAF_2 + IAF_1) (T_2 - T_1)] / 2$$

Dónde: IAF_{1, 2} = índice de área foliar al inicio y final del intervalo, T_{1, 2} = tiempo inicial y final del intervalo.

La tasa media de crecimiento absoluto (TCA, g día⁻¹) se determinó con la ecuación:

$$TCA = \left(\frac{WS_2 - WS_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Dónde: WS₂ y WS₁ representan el peso seco de la planta en los tiempos t₂ y t₁, respectivamente. La tasa media de crecimiento relativo (TCR g g⁻¹ día⁻¹) la fórmula utilizada para la determinación fue:

$$TCR = \left(\frac{\ln WS_2 - \ln WS_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Dónde: ln WS₂ y ln WS₁ son el logaritmo natural del peso seco en el tiempo t₂ y t₁, respectivamente. La tasa media del crecimiento del cultivo (TCC g m⁻² día⁻¹), se determinó mediante la ecuación:

$$TAN = \left(\frac{WS_2 - WS_1}{A(t_2 - T_1)} \right)$$

Dónde: WS₂ y WS₁ representan el peso de la materia seca del cultivo en un tiempo t₂ y t₁, respectivamente, y A representa el área ocupada por el cultivo.

La tasa media de asimilación neta (TAN, g dm⁻² d⁻¹) se determinó con la ecuación:

$$TAN = \left(\frac{WS_2 - WS_1}{H_2 - H_1} \right) \left(\frac{\ln H_2 - \ln H_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Dónde: \ln = logaritmo natural, $A_{f1, 2}$ = área foliar al inicio y final del intervalo de tiempo, $w_{1, 2}$ = peso seco al inicio y final del intervalo de tiempo (Hunt ,1990; Escalante y Kohashi, 1993).

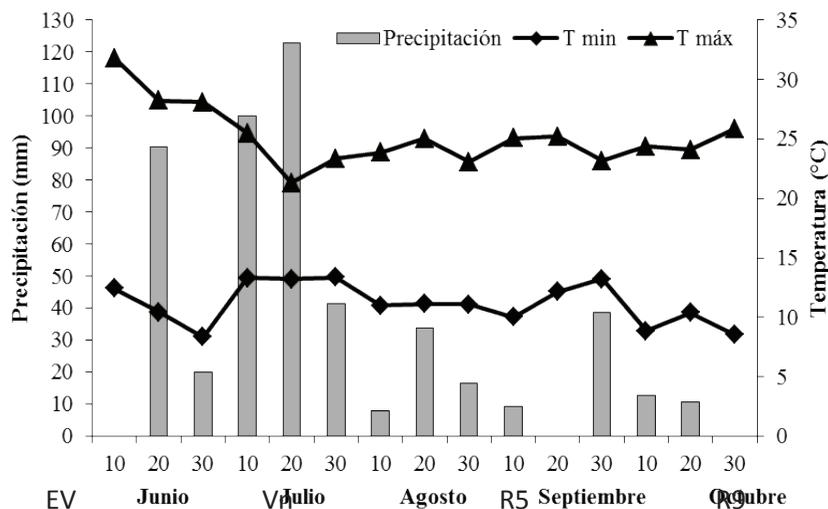
A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza y a las que mostraron diferencias significativas se les realizó una prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05), además de un análisis de correlación y regresión mediante el paquete estadístico SAS, Versión 9.1 (SAS Institute, 2003).

Resultados y Discusión

Clima y fenología

Durante el ciclo del cultivo del girasol, la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) y mínima ($T_{m\acute{i}n}$) promedio fueron de 26°C y 10°C, respectivamente. Las más elevadas ocurrieron durante las cuatro primeras decenas de crecimiento del cultivo (27°C y 11°C para $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$, respectivamente), es decir, de siembra a primeras etapas del ciclo vegetativo. Posteriormente tendieron a disminuir, de tal manera que las más bajas se presentaron en la decena 11, con valores medios de 31°C y 18°C para $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$, respectivamente, que correspondió al llenado del capítulo. La precipitación acumulada de la siembra a madurez fisiológica fue de 388 mm; la mayor incidencia (59%) se presentó de siembra a inicio de floración (R5). De acuerdo con Escalante (1999) las condiciones climáticas tanto de temperaturas como precipitación que se presentaron, son apropiadas para el cultivo del girasol (Figura 1). El efecto de los tratamientos no modificó la ocurrencia de las etapas fenológicas. Así la emergencia (E) se presentó a los 7 días después de la siembra (dds), el inicio de floración (R5) a los 63 dds, la madurez fisiológica (R9) se presentó a los 120 dds.

Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de girasol. Montecillo, Méx. Verano 2011. E = Emergencia, Vn = Etapa vegetativa, R5 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.



Cuadro 1. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en girasol en función del nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano de 2011.

Nitrógeno	DP	NH				IAF				DAFT
		27	52	77	96	27	52	77	96	96
Kg ha ⁻¹	Miles pltas ha ⁻¹	DDS				DDS				
0	40	8a	15c	29b	29b	0.07e	0.96d	2.6d	3.5f	56e
	80	8a	14d	24d	27bc	0.11d	1.2cd	4.9c	6.8e	58e
	120	8a	15c	22e	25c	0.14c	1.6b	6.4b	9.9c	160b
50	40	8a	16b	29b	30b	0.06e	0.72e	2.8de	4.2f	67e
	80	8a	16b	29b	31b	0.13cd	1.5b	5.4bc	8.2d	129c
	120	8a	14d	26c	28b	0.18b	1.9a	8a	11.1b	182a
100	40	8a	17a	33a	37a	0.08e	0.91	3.2d	5.6f	83e
	80	8a	16b	26c	29b	0.14c	1.7b	6.1b	10.6bc	161b
	120	8a	17a	27bc	28b	0.21a	2.3a	8a	14.6a	212a
N	0	8a	14d	25c	27bc	0.11d	1.3c	4c	6.8e	112d
	50	8a	15c	28b	29b	0.12d	1.4c	5.3bc	8d	126c
	100	8a	16b	30b	30b	0.15c	1.7b	6b	10.6bc	159b
DP	40	8a	16b	30b	32b	0.7e	0.8e	2.9	4.4f	69e
	80	8a	15c	28b	28b	0.12d	1.5b	5.4bc	8.6d	133c
	120	8a	15c	26c	26c	0.18b	2a	7.8a	11.9b	188a
Prob. F	N	*	**	**	**	**	**	**	**	**
	DP	NS	NS	**	**	**	**	**	**	*
	N*DP	NS	NS	*	**	*	**	**	**	**
DMS		0.41	0.97	1.6	1.9	0.13	0.97	2.1	1.5	12.1
C.V.		5.1	6.07	5.8	6.6	7.7	5.01	3.02	4.1	7.1

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$) *, ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 , respectivamente. DMS = diferencia mínima significativa, C.V = coeficiente de variación, N = nitrógeno, DP = densidad de población, NH = número de hojas, IAF = índice de área foliar, DAFT = duración del área foliar total.*

Índices de análisis de crecimiento

La dinámica de las tasas de crecimiento del girasol en función del N y DP, se ajustó a modelos de regresión exponencial (Figura 2).

Índice de área foliar (IAF)

La producción de materia seca está relacionada con el área foliar, por lo tanto cuando esta última es alta se espera una alta acumulación de materia seca, en el caso de esta investigación, el máximo IAF coincidió con las etapas fenológicas de plena floración en inicio de llenado de achenios, como lo encontrado por Aguilar *et al.*, 2005.

El IAF varía con la forma de la hoja y la distribución tanto vertical como horizontal del follaje (Cuadro 1). El IAF óptimo es aquel que soporta la máxima tasa de materia seca, y se consigue cuando el cultivo intercepta virtualmente toda la relación de área foliar (RAF) disponible (Clavijo, 1989), y en consecuencia las capas más bajas de hojas aún son capaces de mantener un balance positivo de carbono (Hunt, 1978).

Duración de área foliar (DAF)

La DAF mostró cambios significativos por efecto de N y DP (Cuadro 1), ya que con la combinación N100 y DP120 tiene un incremento del 25% respecto a N0 y DP120. Este índice relaciona el IAF con el tiempo y representa la capacidad de producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo, (Hunt, 1978). Este índice tiene correlación con la precocidad, ya que la longevidad de hojas en los cultivos precoces es menor, mientras que en los cultivos tardíos es mayor (Kooman y Rabbingem 1996).

Tasa media de asimilación neta (TAN)

La TAN como indicador de la eficiencia fotosintética promedio, presentó los mayores valores al comienzo del ciclo del cultivo debido a que la planta se encontraba en el inicio de la etapa fenológica de desarrollo de hojas (Segura *et al.*, 2006).

En los tratamientos evaluados la TAN más alta se observó de los 52 a los 77 dds y disminuyó conforme avanzó el ciclo del cultivo, hasta los 96 dds, donde se tienen los valores más bajos (Figura 2). La disminución de la TAN puede atribuirse al autosombreado en el cultivo, generado por incremento en el tamaño del dosel vegetal, además de un aumento en la tasa de senescencia de hojas (Aguilar *et al.*, 2005; Morales *et al.*, 2007).

El girasol con N presentó una TAN más alta a partir de los 52 dds, de tal manera que con N100 y N50 se incrementó en 1.0 y 1.2 g dm⁻² día⁻¹, respectivamente, y en 1.4 y 0.6 g dm⁻² día⁻¹ a los 96 dds, en relación al testigo N0 kg ha⁻¹. Es decir, el N estimuló la eficiencia fotosintética del dosel vegetal, lo cual puede estar relacionado con incrementos en la concentración de Rubisco y clorofila en las hojas (Correira *et al.*, 2005). En las densidades de población la TAN más alta se registró entre los 52 y 77 dds, con 3, 1.4 y 1 g dm⁻² día⁻¹, para DP40, DP80 y DP120. La TAN más baja encontrada en DP80 y DP120 mil plantas ha⁻¹ fue compensada con la mayor área foliar en esas densidades, lo cual se refleja en la producción de biomasa más alta. Valores similares a los encontrados son reportados por (Aguilar *et al.*, 2005), con densidades de estudio de 2.5, 5.0 y 7.5 plantas m⁻².

Tasa media de crecimiento absoluto (TCA)

En general, la mayor acumulación de materia seca (MS) por día se presentó a los 96 dds. El N estimuló significativamente la TCA, al presentar los valores más altos con N100 (5.7 g m⁻² día⁻¹), seguido de N50 (5.1 g m⁻² día⁻¹) y los más bajos con el testigo (N0, 1.3 g m⁻² día⁻¹) (Figura 2). El aumento en la TCA con el N, de acuerdo con Fageria y Baligar (2005) se relaciona con mayor tamaño del dosel vegetal medido a través del NH e IAF, inducido por este nutriente, además, a una mayor duración de la actividad fotosintética.

Tasa media de crecimiento relativo (TCR)

Como se observa durante el crecimiento del cultivo hay un periodo inicial en el que la TCR es mayor, luego es seguido por un periodo constante para posteriormente disminuir. Los valores más altos se presentaron en las primeras etapas de desarrollo de la planta y disminuyeron conforme avanzó la estación de crecimiento (Figura 2).

El cultivo con N presentó una TCR más alta que el testigo (N0), dicho comportamiento fue más evidente a partir de los 77 dds, con incrementos de $0.033 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ con la aplicación de N100, de $0.036 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ con N50 y de 0.038 con N0. La densidad de población presentó efectos en TCR a los 77 dds, con incrementos de $0.033 \text{ DP40 g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, $0.035 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ DP80 y $0.038 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ con DP120, esto significa que en la etapa inicial de desarrollo del cultivo, estas variedades fueron más eficientes en la elaboración de nuevo material (Clavijo, 1989).

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

Como índice que representa la productividad del cultivo, la TCC indica la eficiencia productiva de biomasa por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo (Hunt, 1978). El valor máximo de TCC se presentó cuando se le adiciono N a la planta con $2860 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, mientras que en el testigo el valor fue de $2750 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, con respecto al DP los valores más altos se reflejaron en las densidades altas (8 y 12 plantas m^{-2}) con 2770 y $2740 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ respectivamente (Figura 3). Datos similares fueron encontrados por Santos *et al.*, 2010, al evaluar la TCC en cuatro variedades de papa, ya que incrementa el índice progresivamente hasta los 125 dds alcanzando la mayor acumulación de masa seca por unidad de área de suelo ocupada y por día.

Biomasa total (BT)

Durante el desarrollo del cultivo, la producción de biomasa por m^2 mostró un incremento significativo debido a la adición de N100 y al aumento en la densidad de población (Figura 3). Así, la biomasa total por m^2 a los 96 dds, fue de 896 (DP40), 1542.9 (DP80) y 2164 (DP120) g m^{-2} . Lo anterior puede atribuirse a una mayor fotosíntesis, debida al crecimiento del dosel vegetal que proporciona mayor intercepción de luz y mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales (Aguilar *et al.*, 2005; Escalante, 1999).

Rendimiento y sus componentes

Con el efecto de los tratamientos ocasionó cambios significativos para el RG y sus componentes (Cuadro 2), así con la aplicación de N (50 y 100 Kg ha^{-1}) y DP (8 y 12 plantas m^{-2}) la producción de grano fue de 440 y 424 g m^{-2} fue superior respecto al testigo 385 m^{-2} . Al elevar la densidad DP120, el área del capítulo se redujo en un 29 % respecto a la densidad baja (DP40) con N100. Datos similares fueron encontrados por (Aguilar *et al.*, 2005), al evaluar diferentes densidades de población en girasol.

Figura 2. Dinámicas de las tasas medias de crecimiento del cultivo absoluto TCA N (a1) y DP (a2), de crecimiento del cultivo TCC N (b1) y DP (b2), de crecimiento relativo TCR N (c1) y DP (c2), en girasol, Texcoco Estado de México. Verano 2011.

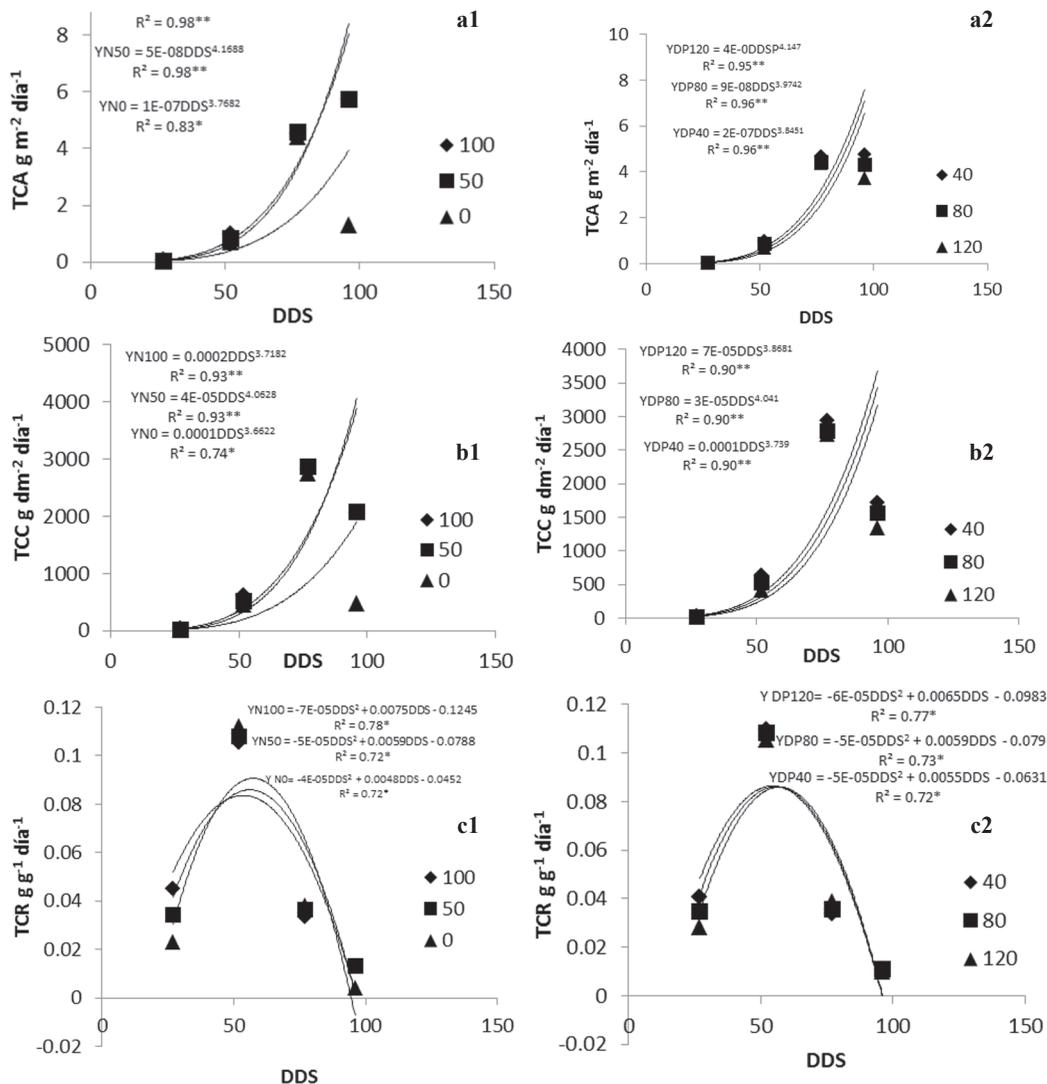
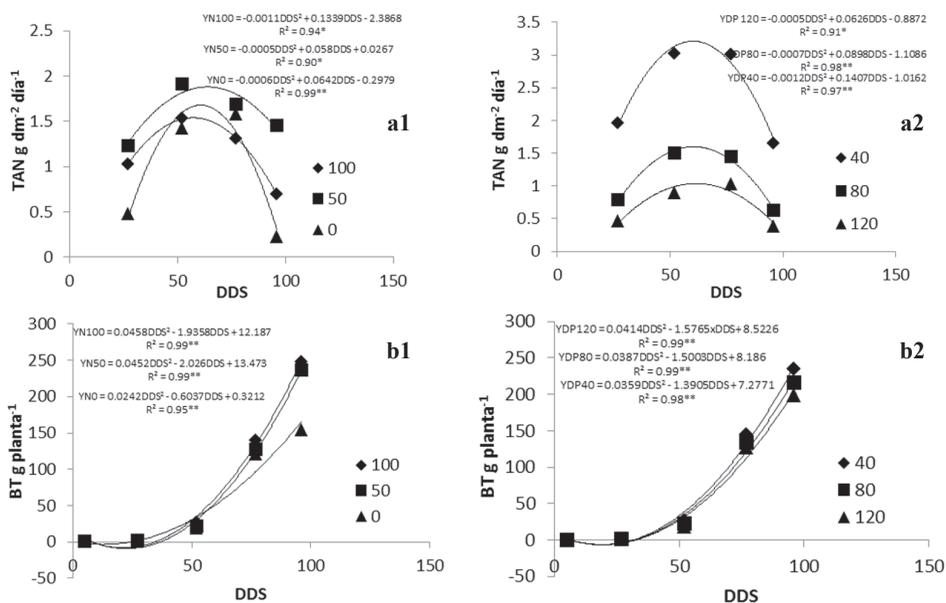


Figura 3. Dinámicas de las tasas medias de asimilación neta TAN N (a1) y DP (a2), producción de biomasa total BT N (b1) y DP (b2) en girasol, Texcoco Estado de México. Verano 2011



Cuadro 2. Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano, peso de 100 semillas y área de capítulo en función al nitrógeno (N) y densidad de población (DP). Verano 2011

N Kg ha ⁻¹	DP Miles de plantas ha ⁻¹	BT g m ⁻²	IC %	RG g m ⁻²	P100S g	AC cm ²
0	40	637 e	22 d	226 c	7 c	341 b
	80	1326 cd	22 d	345 b	7 c	310 c
	120	1699 b	26 c	385 b	8 b	307 c
50	40	713 e	35 a	241 c	8 b	388 b
	80	1412 c	24 c	358 b	8 b	334 b
	120	1886 b	22 d	424 a	8 b	337 b
100	40	896 e	31 b	279 c	9 a	452 a
	80	1542 c	23 d	371 b	9 a	340 b
	120	2164 a	20 e	440 a	8 b	324 b
Prob. F	N	**	**	*	*	**
	DP	**	**	**	NS	**
	N*DP	*	**	*	NS	*
DMS		8.2	9.5	4.6	0.3	2.7
C.V		4.09	4.02	3.01	5.2	9.01

*= P ≤ 0.05, **= P ≤ 0.01, P ≤ 0.001, NS= Diferencias no significativas a P ≤ 0.05.

BT= Biomasa total; IC= Índice de cosecha; REN= Rendimiento; P100S= Peso de 100 semillas; AC= Área de capítulo.

Conclusión

La fertilización nitrogenada y densidad de población incrementó el número de hojas por m², área foliar y duración de la misma, así como la producción de biomasa y rendimiento de grano.

Con la aplicación de N los índices de crecimiento se incrementaron como el índice de área foliar y las tasas de crecimiento como la TAN, TCA, TCR y TCC.

La biomasa total y rendimiento de grano se afectaron con la aplicación de N100 y con una densidad de población de 120 mil plantas ha⁻¹.

Referencias Bibliográficas

Aguilar C. L.; Escalante E. J. A.; Fucikovski Z. L.; Tijerina C. L.; Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. Vol. 23. Núm. 3. Pp 303-310.

Arenas J. Y. R., Delgado M. R., Morales R. E. J., Laguna C. A., Franco M. O., y Urbina S. E. 2011. Rendimiento de raíces tuberosas de *Dahlia variabilis wild* (Desf.) bajo diferentes prácticas de manejo agronómico. *PYTON*. 80: 107-112.

Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. *Revista Comalfi*: 15: 12-16.

Correira, C. M., Mouthino, P. J. M., Coutinho, F. J., Bjorn, L. O., Torres, P. J. M. 2005. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. *Eur. J. Agronomy*. 22: 377-347.

Doorenbos J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades del agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24.

Escalante, J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. Alternativas tecnológicas. Agroproductividad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Escalante J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.

Escalante J. A y Kohashi S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Fageria, N. K. and Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Elsevier Inc. 88: 97-185.

Flores J. M., J. L. Chan y L. Bravo. 1985. Fenología del maíz y frijol en el altiplano de Zacatecas. II. Unidades calor (UC) y desarrollo fenológico. *Fitotecnia* 7: 66-81.

García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.

Gardner, F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, USA. 325 p.

García L. A. y Quincke J. A. 2012. Girasol: respuesta a la aplicación foliar de boro en suelos del litoral suroeste de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. (16) (1): 7-14.

Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.

Hunt, R. 1990. Basic Growth Analysis. Unwinn Hyman. London, UK. 132 p.

Johnson, B.L., 2002. Dwarf sunflower response to row spacing, stand reduction, and defoliation at different growth stages. *Canadian Journal of Plant Science* 83: 319-326

Kooman, P.L., M. Fahem, P. Tegera and A.J. Haverkort. 1996b. Effects of climate on different potato genotypes II. Dry matter allocation and duration of the growth cycle. *European Journal of Agronomy* 5(3-4): 207-217.

Merrien A. 1986. Cahier technique turnesol. Physiologie. CETIOM. Paris. Pp. 1-47.

Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., López, S. J. A. 2007. Producción de biomasa y rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) – Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. *Ciencia Ergo Sum* 14(2): 177-183.

Olalde G. V. M.; Escalante E. J- A.; Sánchez G. P.; Tijerina C. L.; Mastache L. A. A.; Carreño R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima templado. *Terra*. Vol. 18. Num. 004. Pp. 313-323.

Paul, M.J. & Foyer, C.H. (2001). Sink regulation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, Vol.52, No.360, pp. 1383-1400, ISSN 1460-2431

Schneider, A. and Miller, J.F., 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.

Segura, M., M. Santos y C.E. Núñez. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana* 6(2): 33-43.

Statistical Analysis System (SAS Institute). 2003. SAS/STATU ser's Guide Release 9.1 ed. Cary, NC, USA.

Tekaling, T. y P. Hammes. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Sci. Hort.* 105(1), 29-44.

LA PRODUCCIÓN DE HUITLACOCHÉ (*Ustilagomaydis*Cda.) COMO ALTERNATIVA A LA DEL MAÍZ ELOTERO EN RIOVERDE, S. L. P.

Resumen

Se evaluó el rendimiento de huitlacoche en 12 maíces híbridos. El experimento se realizó bajo un arreglo de bloques al azar con 4 repeticiones y 12 tratamientos. Se evaluaron las variables Índice de severidad (IS), Porcentaje de incidencia (PI), Longitud y diámetro de los elotes infectados y el Rendimiento de huitlacoche por ha. El híbrido H135 tuvo el mayor índice de severidad (4.19), le siguieron en importancia el 30P16, Rino, A7573, CTB, Jabalí, 30G40, DK2042, Tigre, Oso y Cobra, cuyos valores oscilaron de 3.78 a 3.0, respectivamente, y el valor más bajo se registró en el 30T26 (2.56); el mayor porcentaje de incidencia correspondió al H135 (83.95%); y en los híbridos 30P16, Rino y A7573 fue de 75.6, 75.0 y 70.85%, respectivamente, el de menor infección fue el 30T26 con 51.2%. La mayor longitud de elote correspondió al híbrido Oso (17.1 cm), seguido del Jabalí y 30G40 con 16.25 y 16.04 cm, respectivamente; y en los híbridos CTB, 30T26, Cobra y Tigre la longitud osciló de 16.04 a 14.94 cm. Los híbridos que alcanzaron el mayor diámetro de jilote fueron el Rino, A7573 y CTB con 5.75, 5.36 y 5.07 cm, respectivamente. El mayor rendimiento se obtuvo con los híbridos Jabalí, A7573, Oso y Rino, con 4.71, 4.62, 4.29 y 3.46 t·h^{a-1}, respectivamente.

Palabras Clave: *Zea mays*, cultivo de huitlacoche, maíces híbridos.

¹Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. MEXICO. Correo-e: jocusamx@yahoo.com ²Egresada del Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. MEXICO. Correo-e: karenciana@msn.com ³Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. MEXICO. Correo-e: roger_owl_uach@yahoo.com.mx

Introducción

De acuerdo con el INEGI (2011), la producción de elote en la zona agrícola de Rioverde, S. L. P., fue desplazada al segundo lugar nacional. Cabe destacar que este descenso en la producción se debe, en gran medida, a que el maíz elotero ha perdido importancia económica a causa de la falta de estrategias adecuadas de comercialización, razón por la cual se hace necesaria la búsqueda de alternativas que den viabilidad al cultivo. Por ello, la producción de huitlacoche se considera como una buena opción, dada la dificultad que podría representar cambiar al maíz elotero por otro cultivo; bajo esta premisa se asume que el maíz podría seguir siendo el cultivo principal en la región; dado el incremento en la demanda del huitlacoche tanto a nivel nacional como internacional, lo que representa una alternativa económica para los productores de la zona.

El huitlacoche [*Ustilagomaydis* (D.C.) Corda], conocido también como carbón común del maíz, es un hongo comestible que se desarrolla en el maíz como una enfermedad en este cultivo, por lo que en algunos países es considerado un grave problema; en México se utiliza como alimento con excelentes características nutrimentales y de sabor único, una delicadeza culinaria en algunas regiones de México, Estados Unidos y Europa; sin embargo, su disponibilidad no está asegurada a lo largo del año, y dado el incremento de su popularidad como alimento ha sido considerado como un cultivo alternativo (Vanegas *et al.*, 1995).

Diferentes estudios han permitido la producción exitosa del huitlacoche, y se ha encontrado que la técnica de inoculación por inyección produce excelentes rendimientos y buena calidad del hongo (Valdez *et al.*, 2009); asimismo probaron producir huitlacoche utilizando maíces criollos y obtuvieron rendimientos de hasta 15 ton·ha⁻¹ con esta técnica. En el caso de los maíces híbridos se ha realizado mucha investigación e inclusive se ha probado producir bajo condiciones controladas, en donde el rendimiento ha rebasado las 7 ton·ha⁻¹ (Madrigal *et al.*, 2010).

Villanueva *et al.*, (2007), mencionan que para que ocurra el desarrollo de la enfermedad se requiere de la variedad susceptible de maíz; la cepa específica y condiciones ambientales favorables; estos autores señalan que para Los Valles Altos Centrales de México, la humedad relativa mayor al 80% en el periodo transcurrido entre la inoculación y el desarrollo de las agallas, además de temperaturas de entre 28-35°C son favorables para la producción artificial de huitlacoche.

La evaluación de genotipos de maíz para fines de producción de huitlacoche, permiten conocer el nivel de susceptibilidad genética (Pan *et al.*, 2008). Las variedades de maíz difieren en su susceptibilidad a este hongo, siendo los maíces dulces los más sensibles (Christensen, 1963; Valverde, 1992; Vanegas *et al.*, 1995), por tal razón el objetivo de la presente investigación fue evaluar la susceptibilidad de 12 maíces híbridos al huitlacoche y su rendimiento.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Ejido San José del Tapanco, Mpio. de Rioverde, S.L.P. a una altitud de 900m, presenta lluvias en verano y heladas ocasionales; con temperatura y precipitación medias anuales de 20.9°C y 375 mm, respectivamente (García, 1988).

La siembra se realizó el 14 de mayo de 2011; las especificaciones técnicas de ésta fueron: 20 cm entre plantas y 80 cm entre surcos. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con 4 repeticiones y 12 tratamientos (los híbridos: Oso, Cobra, Tigre, Jabalí, CTB, A7573, 30T26, DK2042, 30P16, Rino, 30G40 y H135.); cada unidad experimental constó de dos surcos de 5 m de longitud, para un total de 52 plantas.

Para la inoculación se utilizó la cepa IM409, la cual fue aislada e incrementada en cajas de Petri con medio de cultivo PDA (Agar Papa Dextrosa); misma que se llevó a cabo cuando los estigmas de los jilotes alcanzaron de 3 a 5 cm de longitud fuera de las brácteas, el inoculo se aplicó con una jeringa especial, inyectando 1.5 ml de la suspensión en dos puntos equidistantes del jilote, para un total de 3.0 ml por jilote, a una concentración de 1×10^6 basidiosporas \cdot ml⁻¹ de agua.

Los datos se registraron 19 días después de la inoculación, cuando las agallas del hongo se desarrollaron completamente, lo que se manifiesta por un abultamiento y crecimiento deforme del elote.

La susceptibilidad y rendimiento de huitlacoche se evaluó con las siguientes variables: Índice de Severidad (IS), Porcentaje de Incidencia (PI), Longitud y diámetro de los elotes infectados (LDI) y Rendimiento de huitlacoche por hectárea.

Para medir el Índice de Severidad (IS) se consideró la proporción del elote cubierta con las agallas formadas por el huitlacoche, para ello se definieron cinco grados de severidad: Severidad 1 (G1): 1-10%; Severidad 2 (G2): >10-25%; Severidad 3 (G3): >25-75%; Severidad 4 (G4): >75-90% y Severidad 5 (G5): >90-100%. El Porcentaje de incidencia (PI) se obtuvo del número de jilotes infectados con algún grado de severidad dividido entre el número de jilotes inoculados multiplicado por 100. Se midieron la longitud y diámetro de los jilotes infectados, y se calculó el rendimiento del huitlacoche mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{(\sum PEI \times GI)}{\text{Superficie}}$$

Donde (PEI) es el peso del elote infectado y (GI) el grado de severidad del elote, representado en porcentaje (grado 5=100%, 4=70%, 3=50%, 2=30%, 1=10%) y finalmente el dato se estimó por hectárea.

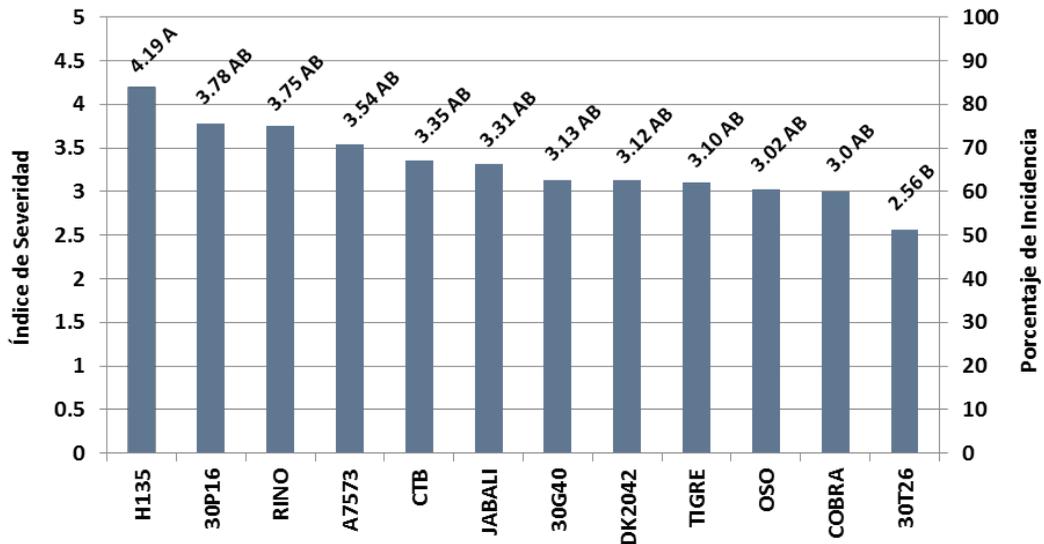
Para el análisis de los datos se utilizó el Paquete Estadístico Statgraphics Centurion XVI, versión 16.1.11, y para la Comparación de Medias de las variables se aplicó la prueba de Tuckey con un $\alpha = 0.05$.

Análisis y Discusión de Resultados

La producción de huitlacoche depende de la susceptibilidad que pudiera tener un genotipo de maíz a *U. maydis*, la cual obedece a tres factores, la virulencia de la cepa, las condiciones ambientales y la resistencia del genotipo a la infección del hongo. El estudio de susceptibilidad y rendimiento de los maíces híbridos evaluados consideró las siguientes variables. Índice de severidad (IS), los maíces híbridos utilizados en este trabajo presentaron diferencias significativas en lo que al Índice de Severidad se refiere, destacándose un alto grado de colonización del hongo sobre los elotes del híbrido H135, con grado de severidad de 4.19; le siguen en importancia los materiales del grupo conformado por los híbridos (30P16, Rino, A7573, CTB, Jabalí, 30G40, DK2042, Tigre, Oso y Cobra) cuyos valores para este índice oscilaron desde 3.78 (30P16) a 3.0 (Cobra), y el material que presentó los valores más bajos fue el 30T26 con un IS de 2.56 (Figura 1).

Cabe destacar que los híbridos 30P16, Rino y A7573 mostraron porcentajes de incidencia muy importantes y fueron los materiales más homogéneos en el trabajo. Al respecto, Velázquez (2008) utilizando el híbrido Oso, obtuvo un índice de severidad de 33.18% con el aislamiento de una cepa específica, que comparando con el obtenido en este trabajo con el mismo maíz, pero utilizando una cepa diferente, el índice de severidad obtenido fue de 3.02, equivalente a 60.55% de cobertura del hongo. Lo que hace suponer que la cepa IM409 utilizada en este estudio es más virulenta que la indicada por el autor antes mencionado.

Figura 1. Índice de severidad y porcentaje de incidencia en los 12 maíces híbridos inoculados artificialmente con huitlacoche. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $p \leq 0.05$).

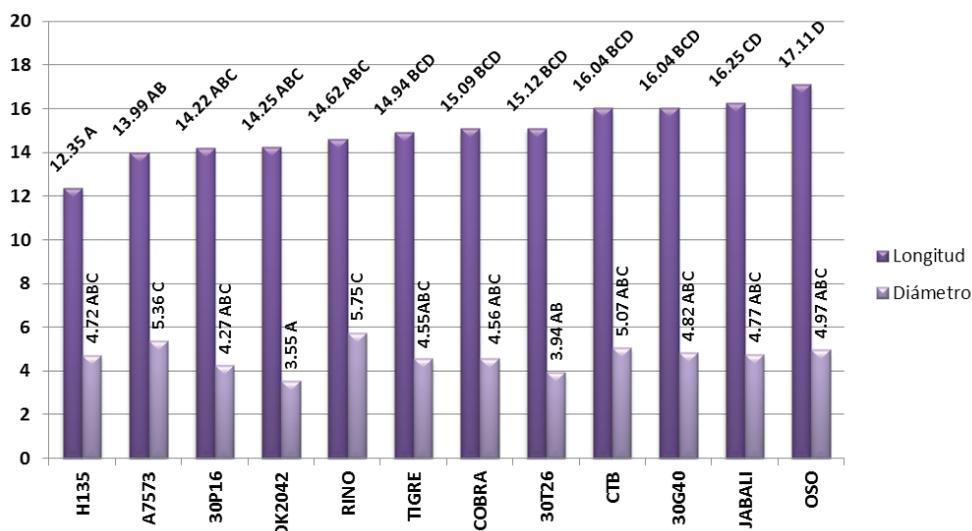


Porcentaje de incidencia (PI); en la Figura 1 se observa que en relación con esta variable se encontraron diferencias significativas en los híbridos utilizados, aunque fue el híbrido H135 el que tuvo el mayor valor (83.95%), lo cual no necesariamente indica que haya sido el mejor material para la producción de huitlacoche, ya que en el resto de las variables evaluadas no fue el más sobresaliente. Los híbridos 30P16, Rino y A7573 tuvieron porcentajes de incidencia de 75.6, 75.0 y 70.85%, respectivamente. Otro grupo lo constituyeron los materiales CTB, Jabalí, 30G40, DK2042, Tigre, Oso y Cobracon un intervalo en el porcentaje de incidencia de 67.15 a 60.05%; y el híbrido que presentó la menor infección fue el 30T26 con valores de 51.2%.

En otros estudios relacionados con esta variable, Patiño (2009) reporta incidencias de 55.8% en el híbrido AS48; Pérez y Robledo (1999) obtuvieron 76.34% de incidencia en maíces criollos susceptible; a este mismo respecto Madrigal (2008), obtuvo un porcentaje de incidencia de 88.09% al combinar el híbrido 30G40 con humedad relativa del 70%; dato que supera el máximo valor de incidencia obtenido en este trabajo con el híbrido H135 (83.95%).

Longitud y diámetro de los jilotes infectados (LDI). De los doce materiales evaluados el que presentó mayor longitud de elote fue el híbrido Oso con 17.1 cm, seguido del Jabalí, cuya longitud del elote fue de 16.25 cm, un tercer grupo lo constituyeron el 30G40, CTB, 30T26, Cobra y Tigre, cuya longitud osciló de 16.04 a 14.94 cm; en los híbridos Rino, DK2042 y 30P16 la longitud del elote fue 14.62, 14.25 y 14.22 cm, respectivamente, y los maíces que mostraron menor longitud del elote fueron el A7573 y H135, con 13.99 y 12.35 cm, respectivamente (Figura 2).

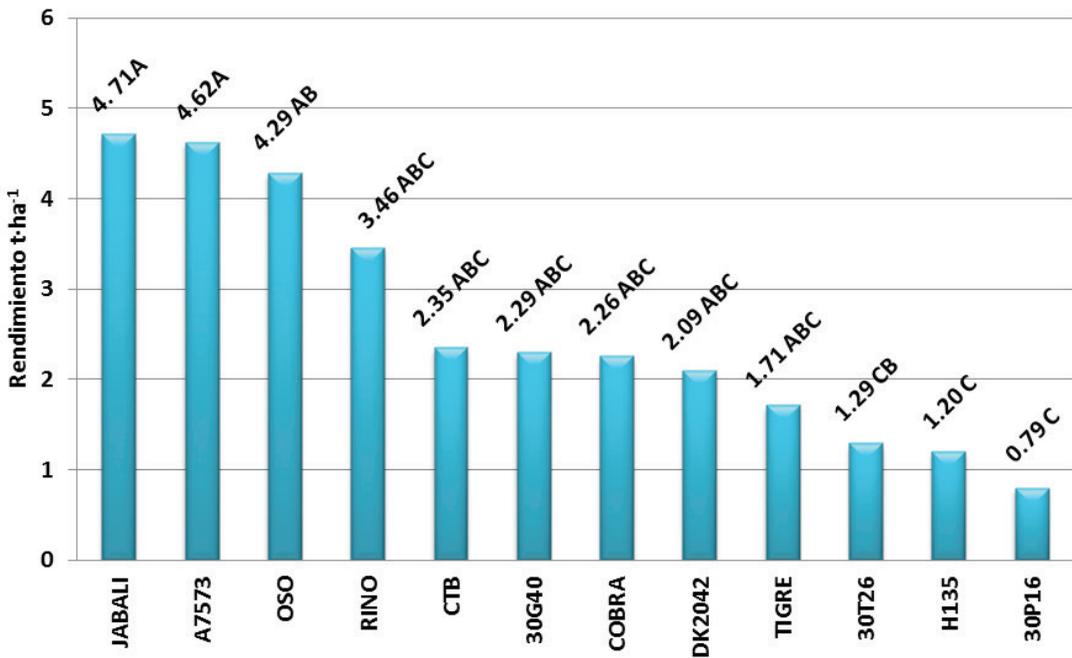
Figura 2. Longitud y diámetro promedios del elote en los 12 híbridos evaluados. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $p \leq 0.05$).



De los híbridos utilizados en la investigación, los que alcanzaron el mayor diámetro de jilote fueron el Rino, A7573 y CTB con 5.75, 5.36 y 5.07 cm, respectivamente; le siguen en sentido descendente el grupo formado por los híbridos Oso, Jabalí, 30G40, Cobra, Tigre, 30P16 y H135, cuyos diámetros oscilaron de 4.97 a 4.27 cm; y los materiales que mostraron los menores diámetros fueron el 30T26 y DK2042 con 3.93 y 3.55 cm, respectivamente (Figura 2).

El rendimiento de huitlacoche en toneladas por hectárea, fue la variable más importante que se evaluó en el trabajo (Figura 3); pues se trataba de encontrar los mejores materiales que pudieran servir como alternativa a quienes se interesen en este tipo de producción. Al respecto se encontró que los híbridos más prometedores fueron el Jabalí, A7573, Oso y Rino, con rendimientos de 4.71, 4.62, 4.29 y 3.46 t·ha⁻¹. De este grupo cabe destacar el potencial que tiene el híbrido A7573 por ser el que más superficie ocupa en la región, aunque los otros materiales también tuvieron un buen desarrollo. El resto de los híbridos (CTB, 30G49, Cobra, DK2042, Tigre, 30T26) tuvieron un rendimiento menor, el cual osciló de 2.35 a 1.29 t·ha⁻¹; y los maíces que mostraron el rendimiento más bajo fueron el H135 y 30P16 con 1.2 y 0.79 t·ha⁻¹.

figura 3. rendimiento de huitlacoche en los doce híbridos utilizados en la investigación. valores con la misma letra son estadísticamente iguales (tukey $p \leq 0.05$).



Conclusiones

El híbrido h135 tuvo el mayor índice de severidad (4.19), le siguen en importancia el 30p16, rino, a7573, ctb, jabalí, 30g40, dk2042, tigre, oso y cobra, cuyos valores oscilaron de 3.78 a 3.0, respectivamente, y el valor más bajo se registró en el 30t26 (2.56).

El mayor porcentaje de incidencia correspondió al H135 (83.95%); y en los híbridos 30P16, Rino y A7573 fue de 75.6, 75.0 y 70.85%, respectivamente, y el de menor porcentaje de infección fue el 30T26 con 51.2%.

La mayor longitud de elote correspondió al híbrido Oso (17.1 cm), seguido del Jabalí y 30G40 con 16.25 y 16.04 cm, respectivamente; y en los híbridos CTB, 30T26, Cobra y Tigre la longitud osciló de 16.04 a 14.94 cm.

Los híbridos que alcanzaron el mayor diámetro de jilote fueron el Rino, A7573 y CTB con 5.75, 5.36 y 5.07 cm, respectivamente.

El mayor rendimiento se obtuvo con los híbridos Jabalí, A7573, Oso y Rino, con 4.71, 4.62, 4.29 y 3.46 t·ha⁻¹.

Referencias Bibliográficas

Christensen, J. J. 1963. Corn smut caused by *Ustilago maydis*. Monograph No. 2. The American Phytopathological Society. 41 p.

García, E. 1998. Modificación al sistema de clasificación climática de Köepen. Ed. Offset Larios S.A. de C.V. México. 217 p.

INEGI. 2011. Perspectiva estadística. San Luis Potosí. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F. 92 p.

Madrigal, R. J. 2008. Estudio de la reacción de maíz al huitlacoche en agricultura protegida. Tesis de Doctorado. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 96 p.

Madrigal, R. J.; Villanueva, V. C.; Sahagún, C. J.; Acosta, R. M.; Martínez, M. L.; Espinosa, S. T. 2010. Ensayos de producción de huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) hidropónico en invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura 16(3): 177-182.

Pan, J. J.; Baumgarten, M. A.; May, G. 2008. Effects of host plant environment and *Ustilago maydis* infection on the fungal endophyte community of maize (*Zea mays*). New Phytologist 178: 147-156.

Patiño, R. P. 2009. Inoculación de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en híbridos de maíz de Valles Altos y su mer-

cado en Toluca, México. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 50 p.

Pérez, M. A.; Robledo, V. E. 1999. Evaluación de la reacción de 300 familias de maíz (*Zea mays* L.) al huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C.) Cda]. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63 p.

Valdez, M. M.; Valverde, G. M. E.; Paredes, L. O. 2009. Procedimiento tecnológico para la producción masiva de huitlacoche. CINVESTAV-Irapuato. Sinco. pp. 1-16.

Valverde, M. E. 1992. Estudios sobre la infección de *Ustilago maydis* (Huitlacoche) y sus características alimentarias. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Irapuato. pp. 10-37.

Vanegas, P. E.; Valverde, M. E.; Paredes, L. O.; Pataky, J. K. 1995. Production of the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis*): efecto maize genotype on chemical composition. Journal of Fermentation and Bioengineering 80(1): 104-106.

Velázquez, D. S. 2008. Reacción de híbridos de maíz a cepas genotipo específicas de huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda.) y caracterización fenotípica de los aislamientos inoculados. Tesis de Maestría. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 101 p.

Villanueva, V. C.; Sánchez, R. E.; Villanueva, E. S. 2007. El Huitlacoche y su cultivo. Editorial Mundi Prensa. México, D.F. 96 p.

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN MAÍZ EN FUNCIÓN DEL NITRÓGENO EN SIEMBRA TEMPRANA Y CLIMA CÁLIDO

Resumen

El crecimiento y producción del maíz depende del potencial genético de la planta, el cual responde a las condiciones ambientales y al manejo agrícola. Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada es determinante para aumentar el crecimiento y rendimiento en maíz. El objetivo del presente estudio fue evaluar mediante el análisis de crecimiento y materia seca en maíz Vandeano, en siembra temprana y riego, el efecto de la aplicación de nitrógeno. El estudio se estableció en Iguala, Gro. el 23 de enero del 2011. Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz criollo raza “Vandeano” y 0, 80, 160 kg N ha⁻¹. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Para evaluar el crecimiento del cultivo, se contabilizó el número de hojas por m² (NH) y se midió el área foliar. Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF). También se evaluó la materia seca (MS, g m⁻²). Con estos datos se calcularon las tasas medias de: crecimiento del cultivo (\overline{TCCTCC}), asimilación neta (\overline{TANTAN}), razón de área foliar (\overline{RAFRAF}) y área foliar específica ($\overline{AFE AFE}$). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza mediante el programa del SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.0) y la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$). El nitrógeno utilizado ocasionó cambios significativos para el NH, IAF y DAF. La aplicación de 80 y 160 kg N ha⁻¹ ocasionó incrementos en el IAF. Los valores más altos en el IAF fueron a los 90 dds. Con 160 kg N ha⁻¹ se presentó el valor más alto de DAF, $\overline{TCC TCC}$, \overline{RAFRAF} , $\overline{AFE AFE}$ y \overline{TANTAN} . La MS desde 30 hasta los 115 dds se incrementó en 33 hasta 58%, respectivamente. El N mediante incrementos en la DAF y la \overline{TANTAN} ocasiona incrementos en la $\overline{TCC TCC}$ y en consecuencia en la producción de materia seca.

Palabras clave: Materia seca, fertilización.

¹Programa de Botánica. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Edo. de México. ²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Mor. *Autor para correspondencia: aguilar.cid@colpos.mx.

Introducción

En México, el maíz es el cultivo más importante desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social, el consumo per capita de maíz es de 330 g d⁻¹, con una aportación de 32 a 55% de carbohidratos (Hartcamp *et al.*, 2000). Es una planta que se desarrolla en diferentes zonas edafoclimáticas y que forma parte de los usos y costumbres de las regiones étnicas. Los principales estados productores de maíz en México son; Sinaloa, Jalisco, Edo. de Méx. y Michoacán. Guerrero ocupa el quinto lugar, con una producción de 1,309,068 t. El 92% (438,006 ha) de la producción es bajo condiciones de lluvia estacional (LLE), donde la precipitación media del estado es de 1200 mm con rendimiento promedio de 2.76 t ha⁻¹. El 8% (24,374 ha) de la superficie se siembra bajo condiciones de riego (ciclo agrícola otoño-invierno) con un rendimiento promedio de 3.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2011). La producción de los cultivos constituye un sistema dirigido a cosechar energía proveniente del sol, convirtiéndose en fruto, grano, forraje, fibra, etc. El crecimiento puede referirse al aumento de peso seco, longitud, altura o diámetro de algún órgano específico de la planta en su conjunto en función del tiempo. El modelo general es de pequeños crecimientos iniciales en tamaño, seguidos de un rápido crecimiento, después otro período durante el cual la planta crece lentamente o deja de hacerlo (curva “sigmoide”). Las curvas de crecimiento son útiles para una comprensión generalizada del proceso de desarrollo de las plantas y, mediante de esa curva determinar algunas labores culturales importantes como riego, fertilización en los cultivos, para finalmente obtener buenas cosechas (Soplín *et al.*, 1993). Dentro del manejo, la fertilización nitrogenada es determinante para incrementar el crecimiento y rendimiento de maíz. No obstante, los reportes sobre el tema en clima cálido no son abundantes por lo que, el objetivo del presente estudio fue evaluar mediante el análisis de crecimiento y materia seca en el maíz Vandeño, en siembra temprana bajo riego, el efecto de la aplicación de nitrógeno.

Materiales y Métodos

El estudio se estableció en Iguala, Gro. durante el 2011, de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y temperatura media de 26.4 °C. La precipitación anual es de 1100 mm y altitud de 635 m (Aw0, García, 2005). Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz criollo raza “Vandeño” y 0, 80, 160 kg N ha⁻¹ el 23 de enero bajo condiciones de riego. La densidad de población fue de 6.25 pl m⁻² y en distancia entre surcos de 80 cm. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.8 m de ancho x 4 m de longitud.

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas en la parcela útil de cada unidad experimental a los 36, 54, 90 y 115 dds. Se contabilizó el número de hojas por m² (NH) y con un integrador electrónico (LI-COR 3100) se midió el área foliar, desde la lígula hasta la punta de la hoja. Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF), en base a la siguientes relaciones: $IAF = (AF/NP) * DP / 100 \text{ dm}^2$, donde AF = área foliar (dm²), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m⁻². $DAF = \Sigma (IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1) / 2$, donde: Σ = sumatoria de la duración del área foliar de cada uno de los muestreos realizados, IAF1 = índice de área

foliar en un tiempo inicial (T_1 , en días), IAF_2 = índice de área foliar en un tiempo final (T_2 , en días) (Escalante y Kohashi, 1993). También se evaluó la materia seca (MS, $g\ m^{-2}$); las muestras se secaron a 80 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante. Con estos datos se calcularon las tasas medias de: crecimiento del cultivo (\overline{TCCTCC}), asimilación neta (\overline{TANTAN}), razón de área foliar (\overline{RAFRAF}) y área foliar específica (\overline{AFEAFE}), mediante las relaciones: $\overline{TCCTCC} = [(PS_2 - PS_1) / A(T_2 - T_1)]$ donde: PS_2 y PS_1 indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempo T_2 y T_1 , respectivamente y A representa el área ocupada por la planta. $\overline{TANTAN} = [(PS_2 - PS_1) / (IAF_2 - IAF_1)] / [(\ln IAF_2 - \ln IAF_1) / (T_2 - T_1)]$, donde: PS_2 y PS_1 expresan el peso de la materia seca de la planta, $\ln IAF_2$ y $\ln IAF_1$, logaritmo natural del índice de área foliar en el tiempo T_2 y T_1 , respectivamente. $\overline{RAFRAF} = [(AF_1 / PS_1) + (AF_2 / PS_2)] / 2$, donde: AF_1 y AF_2 es el área foliar de la planta, PS_1 y PS_2 es el peso de la materia seca de la planta, respectivamente. $\overline{AFEAFE} = [(AF_1 / PH_1) + (AF_2 / PH_2)] / 2$, donde: AF_1 y AF_2 , es el área foliar de la planta, PH_1 y PH_2 es el peso de la materia seca de la hoja (Hunt, 1990; Escalante y Kohashi, 1993).

A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) mediante el programa estadístico del SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.0) y la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados y Discusión

Número de hojas, índice de área foliar y duración del área foliar

En el Cuadro 1, se observa que durante el ciclo del cultivo el N utilizado ocasionó cambios significativos para el NH, IAF y DAFT. El maíz a los 36 dds con 80 y, presentó un NH superior en 14 y 10%, respectivamente al testigo. Posteriormente, el mayor NH se observó con 160 $kg\ N\ ha^{-1}$. Posiblemente a una tasa de aparición de hojas más alta. Los valores más altos en el IAF (4.9) fueron a los 90 dds con 80 y 160 $kg\ N\ ha^{-1}$, lo que sugiere un mejor aprovechamiento de la radiación solar. Un valor de IAF (4.8) cercano al del presente estudio fue reportado por Quiroz y Marín (2000) en clima semiárido, con 120 $kg\ N\ ha^{-1}$, a los 80 dds. La DAFT más alta se encontró con la aplicación de N. Esto indica que la aplicación de N es necesaria para una mayor duración de la maquinaria fotosintética y en consecuencia mayor producción de materia seca.

Cuadro 1. Número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) en el maíz Vandeano en función del nitrógeno. Iguala, Gro. 2011.

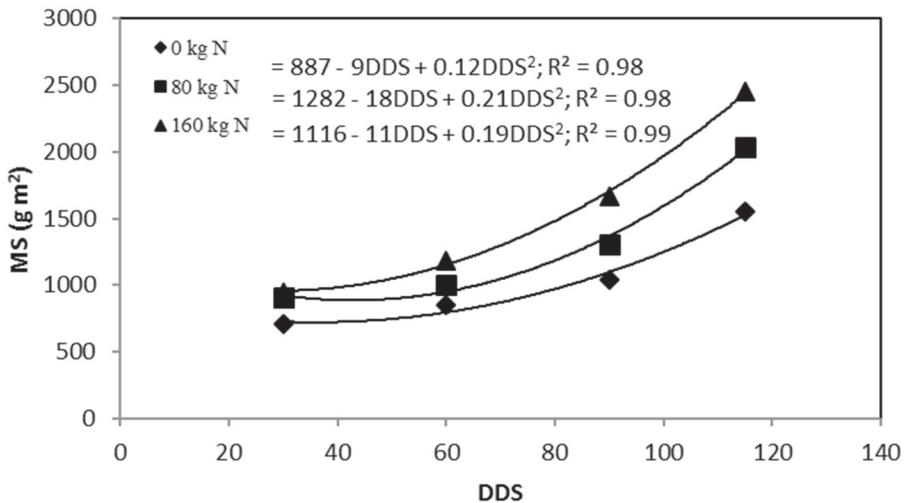
Factor		NH m^2				IAF				DAFT
		36	54	90	115	36	54	90	115	
		Días después de la siembra								Días
N	0	48b	71b	71b	40b	1.0b	3.9b	4.2b	2.3b	293b
	80	55a	71b	71b	41b	1.3a	4.6a	4.9a	3.0a	350a
($kg\ ha^{-1}$)	160	53a	75a	75a	49a	1.4a	4.6a	4.9a	3.0a	349a
	Tukey $\alpha = 0.05$	2.3	2.4	2.3	2.3	0.1	0.4	0.4	0.4	33
	Media general	52	72	72	43	1.2	4.4	4.7	2.8	331
	CV. (%)	5	3	3	6	16	12	11	18	11

En columnas letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Índices de análisis de crecimiento

En la Figura 1, se observa que la aplicación de 160 kg N ha⁻¹ incrementó en 33 hasta 58% la MS desde 30 hasta los 115 dds, en tanto con 80 kg N ha⁻¹ el incremento fue del 27 hasta el 31%, con respecto a sin fertilización. En general dicha respuesta se ajustó al modelo de un polinomio de segundo grado. La aplicación de 80 kg N ha⁻¹ mostró la respuesta más alta al N en una producción de MS de 18 g m⁻² por unidad de N aplicado por día, seguido de 160 kg N ha⁻¹ y 0 kg N ha⁻¹ que produjo la respuesta más baja (9 g m⁻² por unidad de N por día). Esto indica que Vandeño es más eficiente en la producción de MS con 80 kg N ha⁻¹.

Figura 1. Producción de materia seca (MS) en el maíz Vandeño en función del nitrógeno. Iguala, Gro. 2011.



En la Figura 2a se observa que la \overline{TCCTCC} más alta se logró con 160 kg N ha⁻¹ desde los 20 a 102 dds, esto coincide con el momento de mayor demanda de fotosintatos (formación de la mazorca). De acuerdo con el modelo de regresión cuadrática, la mayor producción de MS por día se obtuvo sin la aplicación de nitrógeno (0.69 dm⁻² día⁻¹), lo que indica mayor eficiencia en la producción de materia seca durante el ciclo del cultivo, además esto estuvo relacionado con el incremento en la acumulación de MS en la mazorca. Woo *et al.* (2004) observaron aumento a través del tiempo en la TCC siendo el más alto a los 57 dds similar a lo reportado en el presente estudio.

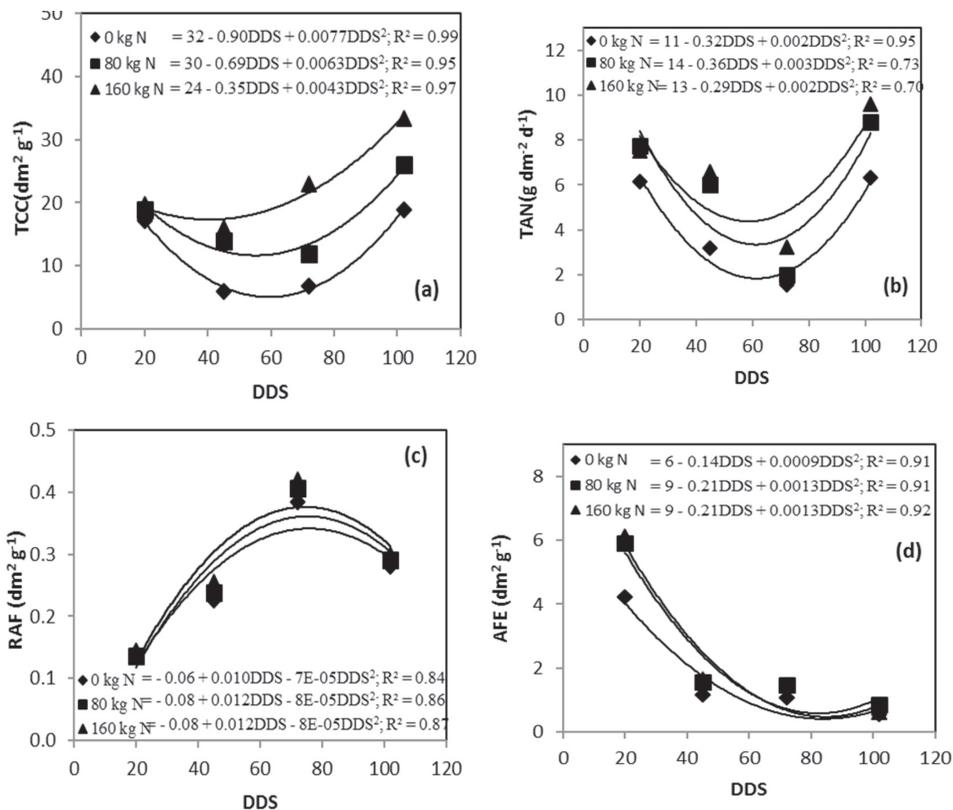
En la Figura 2b, se observa que la \overline{TANTAN} más alta se encontró con 160 kg de N ha⁻¹ desde los 20 hasta los 102 dds. De acuerdo con el modelo de regresión cuadrática, la mayor producción de MS por día se obtuvo con 80 kg N ha⁻¹ (0.36 g dm⁻² día⁻¹). Se observa que la \overline{TANTAN} presentó una tendencia

a disminuir conforme avanzó el ciclo del cultivo, comportamientos similares observaron Woo *et al.* (2004). En seguida, se presentó el aumento de la \overline{TANTAN} por efecto del nitrógeno, lo que demuestra mayor eficiencia del dosel para producir materia seca.

En la Figura 2c se observa que la \overline{RAFRAF} más alta se presentó a los 72 dds con 160 kg N ha⁻¹. Aunque las diferencias fueron mínimas se observa que sin nitrógeno presentó la \overline{RAFRAF} más baja durante el ciclo del cultivo. En contraste, Woo *et al.* (2004) observaron que la \overline{RAFRAF} disminuía conforme avanzaba el ciclo del cultivo, siendo el valor más alto a los 27 dds, contrario a lo observado en el presente estudio.

En la Figura 2d, se observa que la \overline{AFEAFE} más alta en general fue a los 20 dds y disminuyó conforme avanzó el ciclo del cultivo siendo el más alto con 160 kg N ha⁻¹, el cual corresponde a la etapa vegetativa que fue la de mayor formación de área foliar por peso de hoja. Esto indica que con 160 kg N ha⁻¹ presentó hojas más duras lo que puede tener mayor grosor y peso de hojas.

Figura 2. Dinámica de la tasa media de crecimiento del cultivo (\overline{TCCTCC}) (a), asimilación neta (\overline{TANTAN}) (b), razón de área foliar (\overline{RAFRAF}) (c), área foliar específica (\overline{AFEAFE}) (d), en el maíz Vandeño en función del nitrógeno. Iguala, Gro. 2011.



Conclusiones

El nitrógeno incrementa la producción de materia seca mediante tasas de crecimiento de cultivo, tasa de asimilación neta más altas y mayor duración del área foliar. La razón de área foliar y el área específica foliar también son más altas con nitrógeno. Dichos incrementos son más altos conforme se aumenta el nivel de nitrógeno.

Referencias Bibliográficas

Escalante-Estrada, J. A., Kohashi-Shibata, J. (1993). El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México.

García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.

Hartcamp, A. D., White J. W., Rodríguez-Aguilar, A., Bänzinger, M., Hernández, G., Bates, L. A. 2000. Modified method for rapid tryptophan analysis in maize. CIMMYT Research Bulletin 13: 3-6.

Hunt, R. (1981). Plant Growth Analysis. The Institute of Biology's Studies in Biology No. 96. Edward Arnold Publishers LTD. London.

Quiroz A., D. Marín. 2000. Evaluación de la asociación maíz- quinchoncho, con siembra escalonada y dos niveles de fertilización. I. Fenología y crecimiento. Agronomía Tropical. 50 (1): 99-122.

Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2011. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html (Revisado: 12 septiembre de 2012).

Soplin, J. A., A. Rengifo, J. Chumbe. 1993. Analisis de crecimiento en *Zea mays* y *Arachis hypogaea* L. *Folia Amazonica*. 5 (1-2): 171-181.

Woo, R. J. L, R. Vázquez-Alvarado, E. Olivares-Saenz, F. Zavala G., R. Gonzalez G., R. Valdez C. y C. Gallagos V. (2004). Analisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. *Sistemas de producción agropecuaria*. 4(1): 437-441.

Patricio Apáez Barrios¹; José Alberto Salvador Escalante Estrada¹;
María Teresa Rodríguez González¹ y Maricela Apáez Barrios¹

ARREGLO TOPOLÓGICO, NITRÓGENO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN LA ASOCIACIÓN FRIJOL CHINO-MAÍZ

Resumen

El frijol chino (FCH) es una de las leguminosas forrajeras con más alto contenido de proteína y digestibilidad. Su cultivo en asociación con maíz, se limita a condiciones de clima cálido. En condiciones templadas se ha logrado producir forraje, aunque el rendimiento es bajo, prácticas agrícolas como el acortamiento en la distancia entre hilera (DH) y fertilización nitrogenada podrían incrementarlo. El objetivo fue determinar en la asociación FCH-maíz en clima templado, el efecto de la DH y N sobre: a) la ocurrencia de las etapas fenológicas, el tamaño y duración del dosel vegetal y producción de biomasa. Se sembró FCH y maíz en clima templado, bajo condiciones de lluvia estacional a dos DH: 40 cm (DH40) y 80 cm (DH80) y tres niveles de N: N0, N75 y N150 kg ha⁻¹. La temperatura máxima y mínima promedio durante el estudio fue de 28.7°C y 8.3°C, respectivamente, con precipitación acumulada de 218 mm. La ocurrencia de las etapas fenológicas en FCH y maíz no se modificaron por los tratamientos. En FCH y maíz, el tamaño y duración del dosel vegetal y la biomasa (BT, materia seca) se afectaron por la DH y N. La combinación DH40-N150 generó la mayor BT en la asociación, con 727 g m⁻², esto como consecuencia del mayor, índice y duración del área foliar. Así, en clima templado, con el acortamiento de la DH y aplicación de N se logra producción de biomasa similar a lo reportado en condiciones de clima cálido.

Palabras clave adicionales: *Vigna unguiculata*, clima templado, distancia entre hilera, fenología.

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km 36.5 carr. México-Texcoco 56230. Montecillo, Texcoco. Edo. de México. e-mail: jasee@colpos.mx, apaez.patricio@colpos.mx, mate@colpos.mx, apaez.maricela@colpos.mx.

Introducción

Las leguminosas forrajeras son fuente importante de proteínas de alta calidad, dado que poseen una amplia gama de aminoácidos esenciales que las hace superiores a las gramíneas. Además, presentan bajos niveles de fibra, que les confiere alta digestibilidad. Dentro de estas, el frijol chino (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en base a materia seca contiene hasta 19% de proteína, 50% de fibra bruta y 1.4% de cenizas. La digestibilidad está entre 56 y 75% (Ayan *et al.*, 2012).

Los cultivares de crecimiento indeterminado producen mayor cantidad de forraje y comúnmente se cultivan en asociación con maíz (*Zea mays* L.), usado como soporte y también como forraje (Dahmardeh *et al.*, 2009). La asociación permite hacer más eficiente el uso de recursos como espacio, luz, agua y nutrimentos, principalmente (Jolliffe y Gaye, 1995). En general, el maíz presenta tres o cuatro veces más rendimiento que el FCH, sin embargo, el contenido de proteínas y aminoácidos esenciales es menor. Por lo cual, la mezcla con esta leguminosa mejora la calidad de forraje (Ibrahim *et al.*, 2006).

En la asociación FCH-maíz, bajo condiciones de clima cálido, se logra producción elevada de biomasa total (BT, materia seca), en este sentido, en Pakistán se reporta producción de 400 g m⁻² (Ibrahim *et al.*, 2006), en Irán de 605 g m⁻² (Dahmardeh *et al.*, 2009) y en Emiratos Árabes Unidos de 1810 g m⁻² (Rao y Mohammed, 2011). Sin embargo, en clima templado, Apáez *et al.* (2010) registran 154 g m⁻², que aunque se considera bajo, puede ser otra alternativa forrajera en estas condiciones. Se ha encontrado que prácticas de manejo como, aumento en la densidad de población mediante reducción de la distancia entre hilera y fertilización nitrogenada pueden incrementar la BT. En especies como frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) Escalante (1995) y Olalde *et al.* (2000) reportan aumento en la BT con densidades de población altas, como consecuencia de una mayor y más temprana cobertura de dosel vegetal, resultado de un mayor tamaño del mismo, con lo cual se capta más radiación y el uso de insumos se incrementa. Por otra parte, en la mayoría de los cultivos, el N provoca aumento en el área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF), consecuencia del mayor número y tamaño de hojas verdes (NHV), dado que este elemento provoca mayor número y tamaño celular (Massignam *et al.*, 2012). También aumenta la duración del área foliar (DAF), lo que posiblemente favorece la actividad fotosintética y en consecuencia la producción de BT (Escalante, 1999).

El aumento en la densidad de población y dosis altas de N puede prolongar el periodo vegetativo en maíz (Cervantes *et al.*, 2013), sin embargo, en cultivos como girasol no se observa variación (Olalde *et al.*, 2000). En la asociación FCH-maíz en clima templado son escasos este tipo de estudios, por lo cual, los objetivos de esta investigación fueron determinar en esta asociación, bajo condiciones de clima templado, el efecto de la distancia entre hilera y N sobre: a) La ocurrencia de las etapas fenológicas, el tamaño y duración del aparato fotosintético y producción de biomasa y b) determinar la combinación de distancia entre hilera y dosis de N que genere la mayor producción de biomasa.

Materiales y Métodos

El estudio se estableció durante el verano de 2012, bajo condiciones de lluvia estacional en Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Méx. (19° 27'N, 98° 54'O y 2249 m de altitud), de clima templado (García, 2005). Para conocer el nivel inicial de fertilidad del suelo se efectuó un análisis físico y químico, el cual indica que es de textura franco arcillo arenoso, densidad aparente de 1.22 g cm⁻³, pH alcalino (8.2), salinidad baja (0.55 ds m⁻¹), moderadamente alto en materia orgánica (2.71%), bajo en N-inorgánico (3.46 ppm) y muy alto en P-Olsen (117 ppm).

Los tratamientos consistieron en la siembra de FCH de crecimiento indeterminado y maíz azul criollo regional (una planta de cada especie por mata) a dos distancias entre hilera: 40 cm (DH40, 10 pl m⁻²) y 80 cm (DH80, 5 pl m⁻²) y tres niveles de N: N0, N75 y N150 kg ha⁻¹. La combinación generó seis tratamientos, los cuales se distribuyeron en campo en diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Además, a todos los tratamientos se les aplicó 100 y 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O. Los fertilizantes utilizados fueron: urea (40% de N), superfosfato de calcio triple (46% de P₂O) y cloruro de potasio (60% de K₂O). Todo el P₂O₅, K₂O y la mitad de N se aplicaron 15 días después de la siembra (dds) y el resto a los 45 dds.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura máxima (T_{máx.}, °C), mínima (T_{mín.}, °C) y precipitación diaria (PP, mm), así como el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas; para FCH fueron: días a emergencia (V1) e inicio de preantesis (R5) con base a los criterios señalados en Escalante y Kohashi (1993) y para maíz, días a emergencia (VE), inicio de floración masculina (R0) y floración femenina (R1) de acuerdo con Ritchie y Hanway (1992).

A los 90 dds (preantesis del FCH, posterior a la floración femenina en maíz), se midió el tamaño del dosel vegetal, para lo cual, se muestrearon cuatro plantas de cada especie dentro de la parcela útil de cada unidad experimental. Se contabilizó el número de hojas verdes por m² (NHV) y con un integrador electrónico (LI-COR 3100) se midió el área foliar (sin peciolos). Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF), a partir de las siguientes ecuaciones: $IAF = (AF/ NP) * DP / 100 \text{ dm}^2$, donde AF = área foliar (dm²), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas por m². $DAF = (IAF) (T)$, donde: T = días después de la siembra. La producción de biomasa total (BT), se determinó mediante el secado de las plantas a 80°C, en una estufa de circulación de aire forzado, hasta peso constante. Para conocer la relación entre el tamaño y duración del dosel vegetal con la BT, se aplicó un análisis de regresión. Con los datos obtenidos de cada variable, se hizo un análisis de varianza y se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2003).

Análisis y Discusión de Resultados

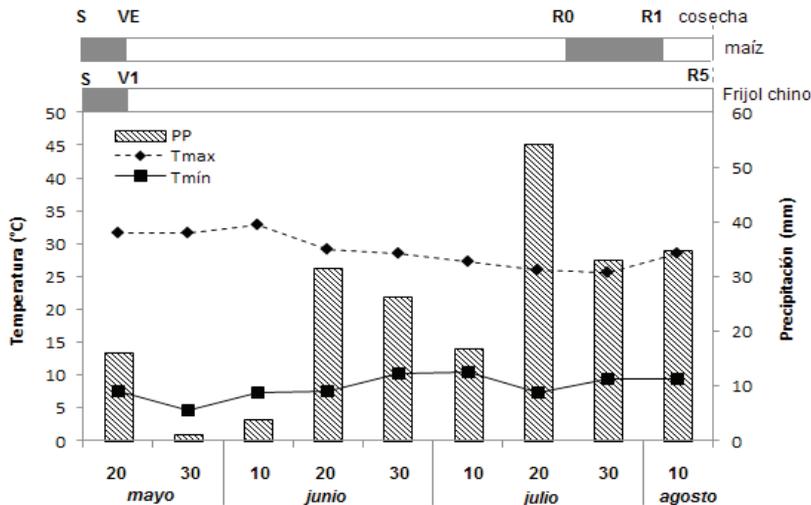
Clima y fenología

Durante el ciclo del cultivo, las T_{máx} y T_{mín} en promedio fueron de 28.7 °C y 8.3 °C, respectiva-

mente. Las T_{máx} más elevadas se presentaron de la siembra a las dos primeras decenas de crecimiento del cultivo, en este periodo también ocurrió la T_{mín} más baja (6.7 °C). Posteriormente la T_{máx} disminuyó, así, en la decena 30 de julio fue de 25.7 °C, que correspondió al periodo entre el inicio de floración masculina (R0) y floración femenina (R1) en maíz y últimas etapas de crecimiento vegetativo en FCH (Figura 1). De acuerdo con Dugje *et al.* (2009), las temperaturas ocurridas durante el periodo del cultivo, fueron menores a las requeridas por el FCH, sin embargo, no obstaculizaron el crecimiento y producción de forraje en esta leguminosa. En cuanto al maíz (criollo regional), estas fueron adecuadas para su cultivo (Ruíz *et al.*, 2002).

La precipitación acumulada de siembra al corte de forraje fue de 218 mm, la mayor incidencia (56%) ocurrió en las últimas tres decenas del ciclo del cultivo (Figura 1). La cantidad fue adecuada para el FCH, el cual presentó evapotranspiración de 206 mm, mientras que para el maíz, fue ligeramente menor a la evapotranspiración (226 mm), lo cual pudo limitar su producción.

Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de la asociación frijol chino-maíz. Montecillo, Méx. Verano de 2012. S = siembra, V1 = emergencia y R5 = prefloración del frijol chino. VE = emergencia, R0 = floración masculina y R1 = floración femenina del maíz.



La distancia entre hilera (DH) y N, no modificaron el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas en las dos especies. Así, en FCH la emergencia se presentó a los 7 días después de la siembra (dds) y a los 90 dds la preantesis (R5), mientras que en maíz, la emergencia ocurrió en tiempo similar al FCH, R0 a los 75 dds y a los 81 dds R1 (Figura 1). Respuesta similar encontró Olalde *et al.* (2000) en

girasol, ya que el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas no se afectó por cambios en N y densidad de población. En maíz, tendencias similares reportan Ruíz *et al.* (2002) en el híbrido-311, para localidades de Jalisco y Zacatecas, en condiciones de lluvia estacional. En relación al FCH, Apáez *et al.* (2011) registraron menor tiempo a ocurrencia de R5 en condiciones de clima cálido, atribuido a las más elevadas temperaturas presentadas en relación al clima templado, donde se estableció el presente estudio.

Número de hojas verdes, índice de área foliar y duración del área foliar

El IAF y DAF mostraron cambios significativos por efecto de DH, N y la interacción DH*N para FCH y maíz, el NHV no resultó afectado por el N (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza del número de hojas verdes, índice de área foliar y duración del área foliar del frijol chino y maíz en asociación, en función de la distancia entre hilera (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.

Factor	Frijol chino			Maíz		
	NHV	IAF	DAF	NHV	IAF	DAF
	No. m ⁻²	-	días	No. m ⁻²	-	días
DH	**	**	**	**	**	**
N	NS	**	**	NS	**	**
DH*N	**	**	**	**	**	**

*, ** = $P \leq 0.01$ y 0.05 , respectivamente. NS = no significativo. NHV = número de hojas verdes, IAF = índice de área foliar, DAF = duración del área foliar.

El FCH y maíz con DH40 presentaron mayor tamaño y duración del dosel, con el cual el NHV, IAF y DAF a los 90 dds se incrementaron en 88, 80 y 70% respectivamente, para FCH y en 58, 76 y 78% respectivamente, para maíz, en relación a la siembra DH80 (Cuadro 2). Esto puede ser consecuencia de una más elevada densidad de población con DH40 (10 pl m⁻²) en relación a DH80 (5 pl m⁻²). Se ha encontrado en altas densidades de siembra, que el tamaño y duración del aparato fotosintético por planta se reduce como consecuencia de la competencia por espacio, agua, luz y nutrimentos. Sin embargo, dicha variable por unidad de superficie presentan incrementos al reducir la distancia entre hileras de siembra y en consecuencia se incrementa la densidad de población (Jolliffe y Gaye, 1995). Respuestas similares han sido encontradas en girasol (Olalde *et al.*, 2000).

Con N150 en FCH se logró el más alto IAF y DAF, superiores a N0 en 54 y 55%, respectivamente. Mientras que en maíz, el IAF aumentó en 43% y en 46% la DAF, el NHV no se modificó y en promedio fue de 156 y 40 hojas m⁻² en FCH y maíz, respectivamente (Cuadro 2). La respuesta positiva a la aplicación de N puede ser consecuencia del bajo nivel inicial de N –inorgánico en el suelo (3.5 ppm), por lo que al suministrar este elemento, se mejoró la nutrición del cultivo. Al respecto, se señala que

el N aumenta la expansión de las hojas y retrasa la senescencia foliar, lo que resulta en mayor tamaño y duración del aparato fotosintético (Escalante, 1999). En relación al efecto combinado, con DH40-N150 se generó el máximo IAF y DAF en FCH y maíz. En las dos especies, el NHV con DH40 fue superior a DH80 en todos los niveles de N evaluados, particularmente debido al aumento en densidad de población (Cuadro 2). Resultados similares reportan Amanullah *et al.* (2007) en maíz, quienes con aumento en la densidad de población y dosis de N, logran incrementos en el IAF de 19 a 24%.

En el presente estudio (clima templado), con DH40-N150 se logró en FCH asociado con maíz, un tamaño y duración de dosel vegetal similar a lo reportado en clima cálido por Apáez *et al.* (2011). Por lo que el acortamiento en la DH, junto con una adecuada fertilización nitrogenada resultó factible para aumentar el tamaño y duración del dosel vegetal.

Biomasa total

La BT en FCH y maíz, mostró modificaciones significativas por efecto de los tratamientos. Así, con DH40-N75 y DH40-N150, en FCH se registraron los valores más altos, en promedio 128 g m⁻², 94% superior a lo obtenido con DH80-N75 y DH80-N150. Mientras que en maíz, la mayor BT se logró con DH40-N150 (597 g m⁻²), superior en 68% a DH80-N150. Al considerar la BT de las dos especies, con DH40-N150, se presentó la más elevada producción, con 727 g m⁻² equivalentes a 5281 g m⁻² de materia fresca (MF), seguido de DH40-N75 con 662 g m⁻² (4788 g m⁻² de MF), de la cual, el FCH representó el 18% (Figura 2).

Cuadro 2. Número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF) del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hilera (DH) y nitrógeno (N).

Montecillo, Méx. Verano de 2012.

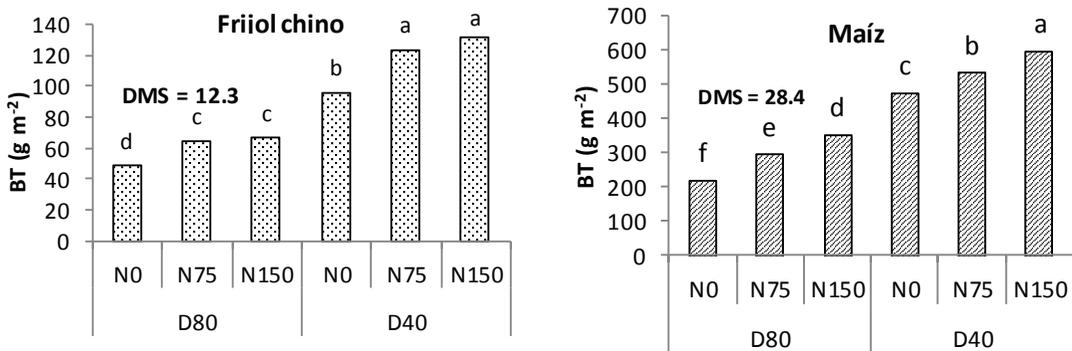
DH	N	Frijol chino			Maíz		
		NHV	IAF	DAF	NHV	IAF	DAFT
Cm	kg ha ⁻¹	No. m ⁻²	-	días	No. m ⁻²	-	días
	0	105b [†]	0.49e	39e	29b	1.6d	130d
	75	109b	0.68d	54d	30b	2.1c	166c
	150	110b	0.79cd	64cd	33b	2.5bc	199bc
40	0	192a	0.92c	73c	49a	2.9b	232b
	75	207a	1.21b	97b	48a	4.0a	322a
	150	212a	1.37a	109a	49a	4.1a	331a
Media general		155.9	0.90	72.9	39.7	2.9	230
DH	80	108b	0.65b	52b	31b	2.1b	165b
	40	203a	1.17a	93a	49a	3.7a	295a

N	0	150a	0.70c	56c	39a	2.3c	181c
	75	155a	0.95b	76b	39a	3.0b	244b
	150	163a	1.08a	87a	41a	3.3a	265a
DMS	DH	10.9	0.15	11.7	2.3	0.34	27.0
	N	16.2	0.10	7.7	3.4	0.22	18.0
	DH*N	26.9	0.08	6.4	6.0	0.43	35.0
C.V		7.5	7.0	7.0	8.0	6.6	8.4

¶*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS = diferencia mínima significativa, C.V = coeficiente de variación.*

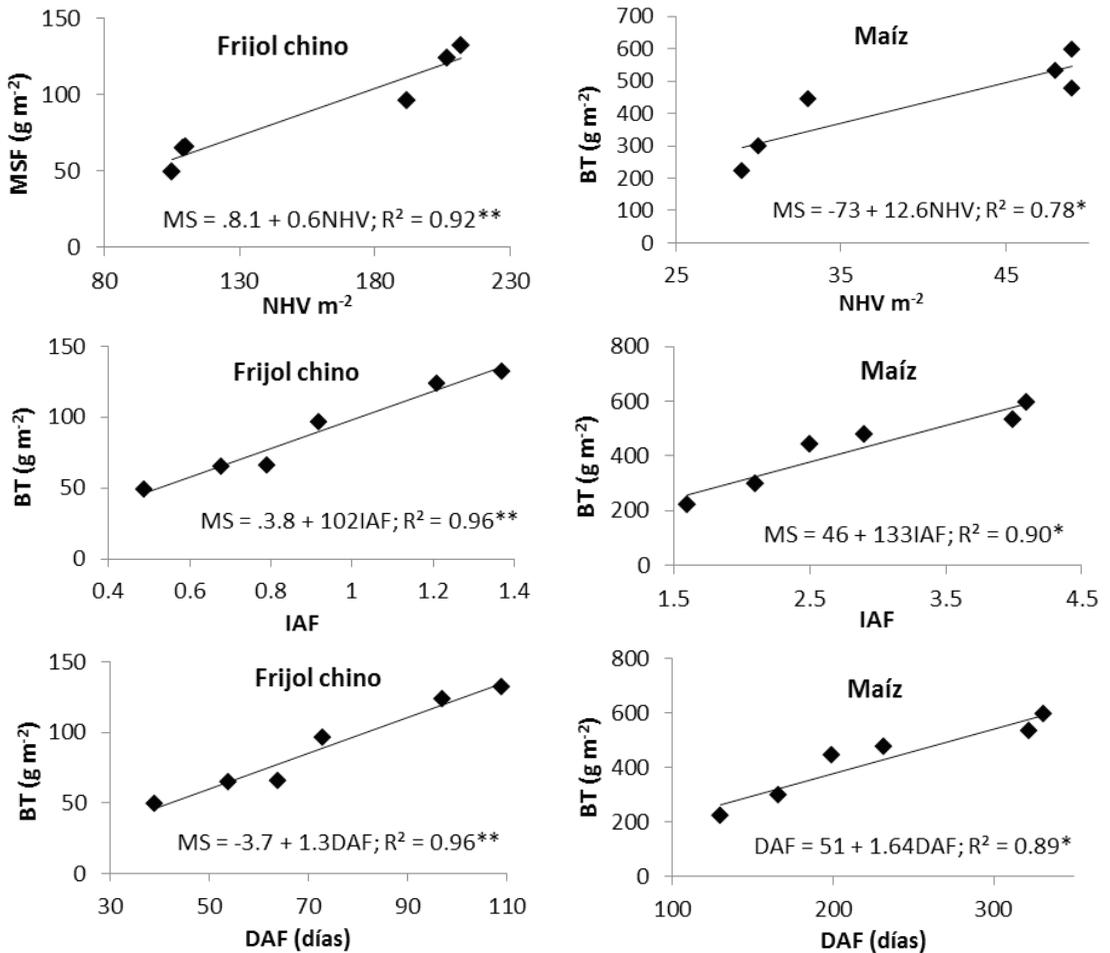
La mayor BT con el acortamiento en la DH y N, puede ser consecuencia de una mejor nutrición del cultivo, además con DH40, la alta densidad de población (10 pl m^{-2}) pudo provocar mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales. Esto se relacionó con incrementos en el NHV, IAF y DAF (Figura 3), con lo cual, puede aumentar la radiación interceptada, que resulta en mayor actividad fotosintética y acumulación de materia seca (Escalante *et al.*, 1999). En este sentido, la BT del FCH presentó la más alta relación con el IAF ($R^2 = 0.96^{**}$) y DAF ($R^2 = 0.96^{**}$), la más baja con el NHV ($R^2 = 0.92^{**}$). En tanto que en maíz, el IAF presentó la mayor relación con la BT ($R^2 = 0.90^{**}$) y la más baja con el NHV ($R^2 = 0.78$) (Figura 3). Esto sugiere que para lograr incrementos en la BT en estas especies se debe buscar elevar la demanda de fotosintatos mediante un mayor IAF y DAF. Al respecto, en cultivos como maíz, frijol común y girasol, se ha encontrado alta relación entre el tamaño y duración del dosel vegetal con la BT (Escalante, 1999; Aguilar *et al.*, 2005).

Figura 2. Biomasa total del frijol chino y maíz en asociación en función la distancia entre hilera y nitrógeno. Montecillo, Méx. Verano de 2012. D80 y D40= distancia entre hilera de 80 y 40 cm, N0, N75 y N150 = 0, 75 y 150 kg ha^{-1} de N, respectivamente.



En clima cálido, bajo condiciones de Irán en la asociación FCH-maíz se reporta BT de 605 g m⁻² del cual, el FCH representa el 30% (Dahmardeh *et al.*, 2009), en Emiratos Árabes Unidos con riego se tiene 1810 g m⁻² (Rao y Mohammed, 2011), mientras que en Pakistán se registran 400 g m⁻² (Ibrahim *et al.*, 2006). En este sentido, existe variación en la producción de BT en esta asociación, que posiblemente sean consecuencia de variación en las condiciones ambientales, genotipos y manejo. Sin embargo, en clima templado con reducción en la DH y aplicación de N se encontró que la producción de forraje es similar a la reportada en clima cálido.

Figura 3. Correlación de la biomasa total (BT) del frijol chino y maíz con el número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF). Montecillo, Méx. Verano de 2012.



Conclusiones

La distancia entre hilera y nitrógeno, no modifican la ocurrencia de las etapas fenológicas, pero afectaron el índice de área foliar, su duración y la producción de biomasa en FCH y maíz. La mayor producción de biomasa se logra con DH40-N150, el cual presenta alta relación con el índice de área foliar y duración del área foliar. En clima templado, con el acortamiento de la distancia entre hilera y aplicación de N se logra mayor producción de biomasa.

Referencias Bibliográficas

Aguilar, G. L., J. A. Escalante, E., L. Fucikovsky Z., L. Tijerina C. y E. Mark E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. 23(3): 303-310.

Amanullah, Hassan, J. M., Nawab, K., Ali, A. 2007. Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ration of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. *World Applied Sciences Journal*. 2(3): 235-243.

Apáez, B. P., J. A. Escalante, E., M. T. Rodríguez, G. y M. Apáez, B. 2010. Biomasa y rendimiento de frijol chino en función del tipo de espaldera. *Investigación en Agronomía y Ciencias Básicas y sus Aplicaciones: Biología y Química*. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. pp: 125-134.

Apáez, B. P., J. A. Escalante, E. and M. T. Rodríguez, G. 2011. Growth and yield of cowpea bean in relation with trellises types and climate. *Trop. Subtrop. Agroec*. 13(3): 307-315.

Ayan, I., Mut, H., Basaran, U., Acar, Z. and Asci, O. O. 2012. Forage potential of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Turkish Journal of Field Crops*. 17(2): 135-138.

Cervantes, O. F., Covarrubias, P. J., Rangel, L. J. A., Terrón, I. A. D., Mendoza, E. M. y Preciado, O. R. E. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semillas híbridas de maíz. *Agron. Mesoam*. 24: 101-110.

Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Sayasar, B. and Ramroudi, M. 2009. Effect of intercropping maize (*Zea mays* L.) with cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on green forage yield and quality evaluation. *Asian Journal of Plant Science*. 8(3): 235-239.

Dugje, I. Y., L. O. Omoigui, F. Ekeleme, A. Y. Kamara and H. Ajeigbe. 2009. Farmers' guide to cowpea production in West Africa. IITA, Ibadan, Nigeria. 19 p.

Escalante, E. J. A. y J. Kohashi, S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.

Escalante, E. J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad*. Colegio de Postgraduados. México. p. 28-32.

- Escalante, E. J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra*. 17(2): 149-157.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Ibrahim, M., Rafiq, M., Sultan, A., Akram, M. and Goheer, M. A. 2006. Green fodder yield and quality evaluation of maize and cowpea sown alone and in combination. *J. AGRIC. Res.* 44: 15-21.
- Jolliffe, P. A. and Gaye, M. M. 1995. Dynamic of growth and yield components of bell pepper (*Capsicum annum* L.) to row cover and population density. *Scientia Hort.* 62: 153-164.
- Massignam, A. M., Chapman, S. C., Hammer, G. L. and Fukai, S. 2012. Effects of nitrogen supply on canopy development of maize and sunflower. *Crop and pasture Science* 62: 1045-1055.
- Olalde, G. V. M., Escalante, E. J. A., Sánchez, G. P., Tijerina, C. L., Mastache, L. A. A. y Carreño, R. E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra*. 18(4): 313-323.
- Rao, N. K. and Mohammed, S. 2011. Potential of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) as alternative forage legumes for the United Arab Emirates. *Emir. J. Food Agric.* 23(2): 147-156.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1992. How a corn plant develops. Special report No. 48. Ames, IA, USA, Iowa State University. 21 p.
- Ruiz, C. J. A., Flores, L. H., Ramírez, D. J., González, E. D. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz h-311 en condiciones de temporal. *Agrociencias*. 36(5): 569-577.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2003. SAS/STATUser's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.

ESTUDIO FITOPATOLÓGICO DEL TOMATE VERDE (*Physalis ixocarpa*) EN LOS MUNICIPIOS DE ATLAUTLA Y TEPETLIXPA, EDOMEX.

Resumen

En los últimos años las hortalizas han cobrado auge en México desde el punto de vista de superficie sembrada, así como en el aspecto social debido a la gran cantidad de mano de obra que se genera. Los principales estados productores de tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot.) en condiciones de temporal son Jalisco, Nayarit, México, Morelos y Puebla, representan el 84% de la superficie y del volumen de producción. En el Estado de México, el distrito de Texcoco es el más importante en la producción de tomate verde y de éste los municipios con mayor superficie son: Tepetlixpa 440 ha, Atlautla con 393 ha y Ozumba 155 ha. Este trabajo se realiza con el objetivo de Identificar las enfermedades más comunes en tomate verde y determinar las causadas por hongos con mayor frecuencia y severidad en los municipios de Atlautla y Tepetlixpa, Estado de México. En julio y septiembre de 2012 se realizó una colecta en 8 parcelas de 40 muestras de material con diversos síntomas probablemente ocasionados por hongos, virus o bacterias, mismas que se llevaron al laboratorio de micología agrícola del departamento de Parasitología Agrícola en la UACH. Mediante diversas técnicas se identificó *Cercospora physalidis* Ellis (Mancha de la hoja), *Alternaria solani* (Tizón temprano), *Entyloma australe* Speg (Ojo de rana), *Fusarium oxysporum* (Marchitez), *Erysiphe cichoraciarum* (Cenicilla) y un complejo de virus como patógenos causantes de los diferentes síntomas que se encontraron. En el presente año (2013) se analizará la severidad y frecuencia de estos patógenos.

Palabras clave: tomate, síntomas, marchitez.

¹Depto. Preparatoria Agrícola, UACH, UACH, ²Divisiónl de Ciencias Económico Administrativas, UACH,

Introducción

En los últimos años las hortalizas han cobrado auge en México desde el punto de vista de superficie sembrada, así como en el aspecto social debido a la gran cantidad de mano de obra que se genera. El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) -también llamado tomate, tomate verde, tomate de hoja, tomate de fresadilla, tomate de bolsa y tomatillo- era conocido por los Mayas y Aztecas desde épocas prehispánicas, siendo México su centro de origen y domesticación (Menzel, 1951; Santiaguillo *et al.*, 1994). Peña y Márquez (1990) señalan que *Physalis ixocarpa* Brot, crece en forma silvestre entre los maizales donde subsisten sistemas tradicionales de producción, donde no se usan los herbicidas, recolectándose incluso para su venta.

Physalis ixocarpa es una planta herbácea anual de 40 a 90 cm de altura, con un diámetro del tallo de 1.1 a 1.3 cm, raíces primarias de 0.8 a 0.9 cm. Las hojas son alternas, de forma ovalada; flor pentámera de color amarillo, con manchas tenues, o bien marcadas con matices azul-verdosa o morado. El fruto es una baya, el cáliz que presenta el fruto presenta diez costillas. La planta se desarrolla en casi todos los tipos suelos y climas. Se cultiva en condiciones de riego y temporal; por ello, las fechas de siembra varían dentro de cada zona productora, lo cual explica que se encuentre en el mercado todo el año.

Alrededor del 74.3% del tomate se produce en condiciones de riego, el resto es de temporal. El estado con mayor superficie cosechada y volumen de producción fue Sinaloa, seguido por Jalisco, Puebla, Nayarit, Zacatecas, y México (SIAP, 2012).

El tomate verde ocupa el lugar 37 de los productos agrícolas más importantes a nivel nacional por la superficie sembrada. La superficie cultivable del tomate verde en México en 2012 fue de 43,505.33 ha. La superficie bajo riego fue de 32,332.03 ha y de temporal de 11,173.30 ha, que representa el 74.3 y 25.7% respectivamente. Los principales estados productores en condiciones de temporal son Jalisco, Morelos, México, Puebla y Nayarit, estos estados representan el 81% de la superficie y del volumen de producción.

El rendimiento promedio nacional de tomate verde es de 14.37 ton/ha. El estado que tiene mayor rendimiento en condición de riego es Durango con 29.87 ton/ha y en condición de temporal el Sinaloa con 15.43 ton/ha (SIAP, 2012).

El estado de México ocupa el sexto lugar en cuanto a superficie sembrada y volumen de la producción. En el Estado se reporta una superficie total de 2,685.4 ha de tomate verde. La superficie en riego es de 1,239 ha y de temporal 1,446.4 ha.

El Estado de México está formado por cinco Distritos de Desarrollo Rural. El Distrito más importante en la producción de tomate verde es el Distrito de Texcoco, con una superficie de 1,106 ha en condiciones de temporal, que representa el 95.84% de la superficie sembrada en este distrito. Los prin-

cipales municipios con mayor superficie son: Atlautla con 366 ha, Tepetlixpa 250 ha, y Ozumba 150 ha, que representan el 33, 22.6 y 13.5% de la superficie sembrada a nivel de Distrito (SIAP, 2012).

Existe una amplia variedad de insectos plaga de importancia en el cultivo del tomate verde, relacionados con diferentes factores; entre ellos se puede mencionar el período de siembra en el que se establece el cultivo, la exigencia del mercado de productos de calidad estética perfecta y por el manejo intensivo con abundante uso de agroquímicos.

Las principales plagas del tomate de cáscara son: *Bactericera* (= *Paratrioza*) *cockerelli*, *Diabrotica undecimpunctata*, el picudo del toloache (*Trichobaris mucorea* LeConte), el mayate del tomate de cáscara (*Lema trilineata daturaphila* Kogan y Goeden), la pulga saltona (*Epitrix* sp.), la mosca del tomate de cáscara o arrocillo (*Melanogramysa tomatae*), gusano del fruto (*Heliothis* spp), minador de la hoja (*Liriomyza* sp) y trips (Jiménez *et al.*, 1992; Fernández, 1995).

El tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot.), como todos los cultivos, es atacado por diversos problemas fitopatógenos, entre los que destacan las enfermedades causadas por hongos y virus, que con el paso del tiempo han ido adquiriendo cada vez más importancia, puesto que son capaces de ocasionar pérdidas de hasta el 100% si no se controlan a tiempo. *Physalis ixocarpa* es atacado por más de 16 especies de hongos, dos especies de bacterias, seis de virus y por lo menos dos especies de nematodos.

Algunas enfermedades fungosas que hasta la fecha han sido encontradas atacando *Physalis ixocarpa* Bort. son: en ramas y tallos el moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary); en hojas el tizón temprano (*Alternaria solani* (Allis & Martin) Jones & Grout), el ojo de rana (*Etyloma australe* Speg.), la mancha de la hoja (*Cercospora physalidis* Ellis) y la enfermedad más frecuente y devastadora, la cenicilla (*Oidium* sp.); en las raíces Dampin-off o secadera de las plántulas (*Fusarium oxysporum* (Sheld.) Snyder & Hansen y *Rhizoctonia solani* Kunh.); en el fruto se puede presentar pudrición del fruto (*Botrytis cinerea* Pers), (Piña y Ponce, 1990; De la Torre, 1996; Rosas, 1999).

Las bacterias que se han encontrado atacando este cultivo son *Pseudomonas angulata* (Fromme & Murray), *P. tabaci* (Wolf & Foster) y los virus que se han encontrado en *Physalis ixocarpa* Bort. son el virus mosaico de las cucurbitáceas, virus mosaico del tabaco, virus mosaico rugoso de la papa, virus moteado de la papa, virus anular del tabaco y virus mosaico del nabo, entre otros. Por lo que el El objetivo que se planteó en este trabajo es: Identificar las enfermedades más comunes en tomate verde (*Physalis ixocarpa*) y determinar las causadas por hongos con mayor frecuencia en los municipios de Atlautla y Tepetlixpa, Estado de México.

Materiales y Métodos

Localización geográfica de la región de estudio

Tepetlixpa:

El municipio de Tepetlixpa se ubica en el extremo sur del oriente del Estado de México, a 19° 0' 2" de latitud norte y 98° 49' 04" de longitud oeste del meridiano de Greenwich; tiene una altura sobre el nivel del mar en sus partes más altas de 2,600 metros y de 1,600 en las más bajas, la cabecera está a 2 315 mts. Limita al norte con Juchitepec y Ozumba, al sur con Atlatlahuacan, Morelos al oeste con Ozumba y al oeste con Juchitepec y Totolapan, Morelos.

Predominan dos climas: en la parte norte, templado, subhúmedo, con verano largo y lluvia invernal inferior al 5%; la temperatura más elevada se manifiesta en el solsticio de verano. En la parte sur es templado semicálido, subhúmedo, con poca variación térmica, con igual temperatura y precipitación que el anterior. Las primeras lluvias se presentan en verano, con algunas granizadas; las temperaturas más bajas y heladas se registran de diciembre a febrero, predominando los vientos alisios del oeste y los polares. La temperatura media anual es de 17.1°C.

El municipio tiene 4,667.8 hectáreas, de las cuales 2,358.8 son tierras de temporal; 199.6, son ociosas; 3.3 son de uso intensivo; 9.1 de uso extensivo; 902.0 de bosque; 37.2 de arbustos; 480.3 de uso urbano; y 677.5 de otros usos. La agricultura es la más importante, el 75.20% del territorio se dedica a ella. Se producen: cereales, hortaliza y fruta, aunque no en cantidades que propicien la exportación (Enciclopedia de los municipios del Estado de México, 2010).

Atlautla:

El municipio de Atlautla se localiza en la parte suroeste de la faja volcánica transmexicana, enclavado en las cuencas de los ríos Moctezuma, Pánuco y Balsas; a 70 kilómetros del Distrito Federal, ubicada dentro de la Región III-Texcoco. Sus coordenadas son: Máximas: 19° 05' 11" Latitud norte, 98° 49' 12" longitud oeste; Mínimas: 18° 56' 12" Latitud norte, 98° 37' 21" longitud oeste.

Limita al norte, con el Municipio de Amecameca; al sur, con Ecatzingo y el estado de Morelos; al este, con los estados de Puebla y Morelos; al oeste con los municipios de Ozumba y Tepetlixpa. La superficie del municipio asciende a 134.9 km² que representan el 0.6% en relación al total del territorio estatal. La altura varía y va desde los 5,438 msnm.

El municipio tiene dos climas diferentes: clima templado al norte, semifrío que abarca la mayor parte del municipio, desde el parque nacional Ixta-popo hasta las faldas del volcán Popocatepetl.

El municipio cuenta con una superficie total de 16,552.1 ha, el sector agrícola tiene 3,955ha que

corresponde el 23.9% del total. La gran mayoría de los habitantes son campesinos y se dedican a la hortaliza, floricultura y unos cuantos a la apicultura.

Aspecto sanitario

Se realizó una primera colecta de material enfermo en el municipio de Atlautla el 26 de julio y otra el 21 de septiembre de 2012 (Figuras 1 y 2), mediante el método de muestreo al azar en cinco de oros en 8 parcelas colectando 40 muestras de raíces, tallos, hojas, flores, frutos y plantas completas que presentaron manchas, tizones, marchitez, pudriciones, clorosis y moteados probablemente ocasionado por hongos, virus o bacterias.

Las muestras se llevaron al laboratorio de Micología Agrícola del departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo se realizó una identificación preliminar con ayuda de los microscopios estereoscópico y compuesto, con la finalidad de descartar organismos saprófitos que pudieran estar ocasionando el síntoma.

Posteriormente se realizó el aislamiento del patógeno, mediante los siguientes métodos:

- Cámara húmeda: del material enfermo fresco se cortaron pequeños trozos, se desinfectaron con hipoclorito al 1% durante 1-3 minutos, posteriormente se lavaron con agua destilada y se transfirieron a la cámara húmeda (Caja de petri con papel filtro húmedo) y se envolvió en una bolsa de polietileno, se revisó todos los días hasta que se observó desarrollo del hongo y se identificó mediante preparaciones temporales en el microscopio estereoscópico.
- Siembra de tejido enfermo: el procedimiento es básicamente el mismo que en el método anterior, con la diferencia de que una vez lavados los trozos con agua destilada se colocaron en papel filtro, para eliminar el exceso de agua y en condiciones asépticas se colocaron en medio de cultivo de Papa Dextrosa Agar (PDA), una vez que se observó crecimiento del hongo se identificó mediante preparaciones temporales en el microscopio estereoscópico.

Análisis y Discusión de Resultados

En dicho muestreo se obtuvieron 24 muestras de ocho parcelas diferentes, las cuales se llevaron al laboratorio de micología agrícola en el departamento de Parasitología Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo para su análisis.

Fig. 1. Síntomas de plantas enfermas de Tomate verde (*Physalis ixocarpa*)

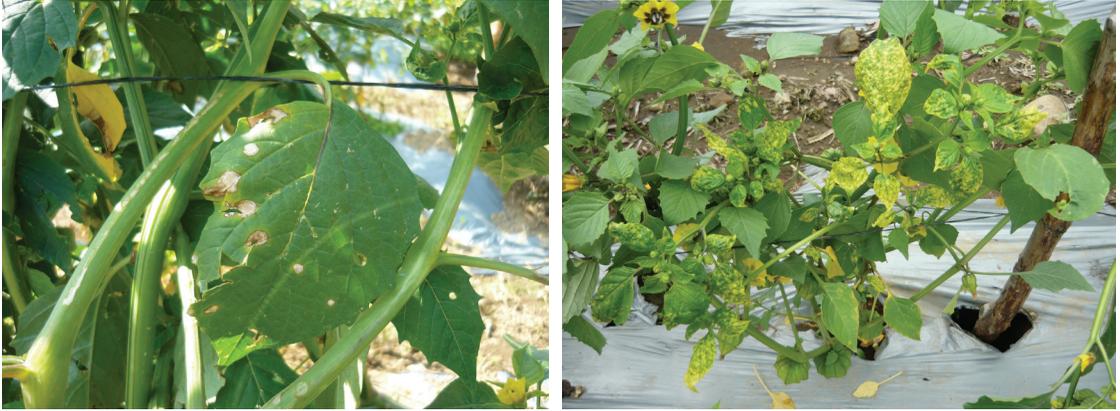


Fig. 2. Toma de muestras de plantas con síntomas



Mediante cámara húmeda, siembra de cultivo enfermo, siembra de estructuras y PCR se identificaron los siguientes hongos:

Fig. 3. *Cercospora physalidis* Ellis (Mancha de la hoja): Manchas foliares de forma circular o subcircular de 3-10 mm de diámetro, de color café a café grisáceo, en ocasiones presentan anillos concéntricos y al madurar la lesión, ésta se torna más clara.



Fig. 4. *Alternaria solani* (Tizón temprano): Se presentan manchas circulares de color café, donde destacan anillos concéntricos de color más oscuro, mancha de color verde al amarillo, luego café.



Fig. 5. *Entyloma australe* Speg (Carbón Blanco u Ojo de rana): Se presentan lesiones circulares de color blanco donde se encuentran esporas de color amarillo rojizo o hialinas de forma ovoide, esféricas, o un poco anguladas.



Fig. 6. *Fusarium oxysporum* (Marchitez): En plantas adultas se presenta epinastía foliar y un aclaramiento de las nervaduras, marchitamiento de los tallos y hojas jóvenes, defoliación, necrosis marginal y finalmente, su muerte.



Fig. 7. *Oidium sp* (Cenicilla): los síntomas que se observan son manchas pulverulentas de color blanco en la superficie de las hojas (haz y envés) que van cubriendo todo el aparato vegetativo llegando a invadir la hoja entera, también afecta a tallos y pecíolos e incluso frutos en ataque muy fuerte. Las hojas y tallos atacados se vuelven de color amarillento y se secan.



Fig. 8. Complejo de virus como patógenos causantes de los diferentes síntomas



Los resultados que se obtuvieron coinciden con los reportados por Piña y Ponce, 1990; De la Torre, 1996, y Rosas, 1999; quienes señalan que en tomate verde es atacado en hojas por el tizón temprano (*Alternaria solani* (Allis & Martin) Jones & Grout), el ojo de rana (*Etyloma australe* Speg.), la mancha de la hoja (*Cercospora physalidis* Ellis) y la enfermedad más frecuente y devastadora, la cenicilla (*Oidium sp.*); en las raíces por *Fusarium oxysporum* (Sheld.) Snyder & Hansen

Conclusiones

Se identificaron 6 enfermedades en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), en las colectas que se realizaron en el 2012, ocasionadas por *Alternaria solani*, *Etyloma australe*, *Cercospora physalidis*, *Oidium spp* y *Fusarium oxysporum*, así como un complejo devirus.

En el presente año (2013) se analizará la severidad y frecuencia de estos patógenos.

Referencias Bibliográficas

De la Torre A., R. 1996. Caracterización histológica y molecular de un complejo de virus en el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en los valles altos de México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Fitopatología. Colegio de Postgraduados. Montecillo Edo. De México. 93 p.

Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Estado de México. *INAFED Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. SEGOB Secretaría de Gobernación 2010*©
http://www.e-local.gob.mx/wb/ELOCAL/EMM_mexico

Fernández O., V. M. 1995. Comportamiento de colectas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) al daño de plagas y enfermedades en Xochitepec, Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias. Protección Vegetal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.

Jiménez G., R., R. Domínguez R. Y A. Peña L. 1992. Plagas insectiles del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Chapingo, México. *Revista Chapingo*, 77: 75-79.

Menzel, Y. M. 1951. The citotaxonomy and genetics of *Physalis*. *Proc. Am. Philos. Soc.* 95(2): 132-183.

Peña L., A. y F. Márquez S. 1990. Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo* 71/72: 85-88.

Piña A., J. y F. Ponce G. 1990. Etiología y control del carbón del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Luvianos y Villa Guerrero, México. *Revista Chapingo*, 67/68: 22-25.

Rosas M., A. 1999. Respuesta de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis spp*) a virus que provocan la enfermedad “chino del tomate”. Tesis de Maestría en Ciencias. Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.

Santiaguillo H., J. F., R. López M., A. Peña L., J. A. Cuevas S. y J. Sahagún C. 1994. Distribución, colecta y conservación de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura, 2: 125-129.

SIAP 2012. <http://siap.gob.mx/index>

¹Felipe Mirafuentes Hernández; ²Felipe Santamaría Basulto;
¹Alfonso Azpeitia Morales y ³Héctor Romulo Rico Ponce.

ADAPTACIÓN DEL HÍBRIDO DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) “MSXJ” A DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES DE MÉXICO

Resumen

Las variedades de papaya que se cultivan comercialmente en México tienen su origen en otras partes del mundo y al ser introducidas a los ambientes del país resultan susceptibles a plagas y enfermedades, destacando los ácaros y enfermedades (producidas por virus y hongos) conocidas comúnmente como virosis y antracnosis respectivamente. El INIFAP desarrolló el híbrido MSXJ que es un genotipo que tiene como progenitor masculino al cultivar Maradol(MST) y la línea “J” como madre. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de adaptación del híbrido en tres ambientes de México. Los genotipos se establecieron en: Huimanguillo, Tabasco en diciembre de 2008, en Mocochoá, Yucatán, en diciembre de 2010 y en Apatzingán, Michoacán en julio del 2012. En las tres fechas se estableció como testigo la variedad Maradol. Se evaluó la altura de planta al inicio de la cosecha, altura al primer fruto, número de frutos, tipo y tamaño de frutos y rendimiento. El híbrido produjo mayor cantidad de frutos en las tres localidades y dentro de éstos, la mayoría fueron del tipo elongata. La producción por planta fue de 59 kg en Tabasco, de 63 kg en Yucatán y 52.8 en Michoacán, por lo que el potencial de MSXJ puede ser de 117 a 132 toneladas por hectárea al considerar una población de 2,000 plantas/hectárea en Tabasco y Yucatán y 2,500 plantas/hectárea en Michoacán.

Palabras clave: Papaya, genotipo híbrido, MSXJ,

¹Campo Experimental Huimanguillo. CIR-Golfo Centro, INIFAP. km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco. C.P. 86400. Tel: 01 917 375 0398. (mirafuentes.felipe@inifap.gob.mx), (azpeitia.alfonso@inifap.gob.mx) ²Campo Experimental Mocochoá. CIR-Sureste, INIFAP. km 24 carretera antigua Mérida-Motul, Mocochoá, Yucatán. C. P. 97454. Tel. 01 991 9162215 (santamaria.felipe@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Valle de Apatzingán, Michoacán. INIFAP-CIRPAC. (rico.hector@inifap.gob.mx) Dirección: Km17.5 Carretera Apatzingán-Cuatro Caminos Apartado postal No.262. CP. 60781 Tel: y Fax: 425592-5140. Autor para correspondencia: azpeitia.alfonso@inifap.gob.mx

Introducción

La papaya (*Carica papaya* L.) es una fruta tropical muy apetecible por su suave y agradable sabor, aunado a sus propiedades nutritivas y digestivas. Sin embargo, este cultivo es seriamente afectado por plagas y enfermedades. La principal enfermedad viral es el enchinamiento o mancha grasienta de la papaya, conocida comúnmente como “virosis”, producida por el virus de la mancha anular de la papaya (PRSV), ampliamente disperso en las plantaciones, y el más perjudicial en México y en la mayoría de los países productores (Manshardt, 1992). Otro virus que afecta al papayo es el del mosaico de la papaya (PapMV), reportado por primera vez en México en el año de 2001 (Noa-Carrazana y Silva-Rosales, (2001). Aunado al problema de virus, los ácaros ocasionan severos daños y sobre todo provocan alteraciones que fácilmente se confunden con los síntomas asociados por las enfermedades víricas confusiones con síntomas asociados a virus (Ochoa *et al.* 1991).

El mejoramiento genético representa la vía más duradera para controlar las enfermedades virales en el papayo; en varios países se han producido variedades tolerantes a virus mediante cruza entre (líneas resistentes o tolerantes) papayos (Lima *et al.*, 2002; Vegas *et al.*, 2002), híbridos entre esta especie(cultivada) con otras silvestres, y variedades genéticamente modificadas (Tennnant *et al.*, 2005).

El mejoramiento de la papaya incluye la determinación de factores para incrementar la calidad de fruto, alta productividad, tolerancia a las plagas y enfermedades, (principalmente al virus de la mancha anular), presencia o ausencia de baja ocurrencia de flores carpeloides y sin esterilidad femenina en verano; características de calidad de los frutos para mercado nacional y latino en los Estados Unidos con frutos de 1.5 a 2.5 kg de peso forma alargada, pulpa firme, resistente al manipuleo y con un mínimo de 2 cm de grosor, uniformidad de forma y periodo de maduración (CONAPROPA, 2008).

En México, la falta de semilla de plantas mejoradas de papayo, y la susceptibilidad a plagas y enfermedades de las variedades existentes e híbridos introducidos motivó desarrollar el primer híbrido de este frutal, que se liberó con el nombre de ‘Azteca’ (Mirafuentes y Azpeitia *et al.* 2008). Sin embargo, los problemas que afectan al cultivo de papaya se deben al bajo número de variedades explotadas comercialmente y la susceptibilidad a plagas y enfermedades, por lo cual una de las alternativas más viables es la ampliación de la base genética generando nuevos híbridos y variedades (Maruchi *et al.*, 2008). Mirafuentes y Azpeitia (2008), indican que el mejoramiento genético es una de las alternativas para disminuir la problemática que se presenta en el papayo e incrementar la productividad de sus variedades e híbridos utilizando la tolerancia de sus genotipos criollos.

La variedad Maradol produce un número variable de frutos por planta dependiendo del ciclo, manejo agronómico y las condiciones meteorológicas que se presentan durante su cultivo, pero en promedio es de 45 frutos durante todo el ciclo de la planta. El potencial de rendimiento experimental es de 150 t/ha y el comercial es en promedio de 120 t/ha; en cuanto a tamaño de fruto indican que el peso promedio es de 1.7 kg, con un diámetro longitudinal de 23 cm y ecuatorial de 12 cm. (Vázquez *et al.* 2010).

Los genotipos criollos son tolerantes a plagas, enfermedades y carpeloidia, pero de tamaño y forma variable y con peso de 2.0 a 3.5 kg y de pulpa suave. Con base a lo anterior, el programa de mejoramiento genético de papaya del INIFAP en Tabasco ha desarrollado líneas avanzadas procedentes de colectas de genotipos criollos, variedades comerciales y cruzamientos entre éstos. Como resultado de este programa se encuentra el híbrido MSXJ, el cual es un genotipo que tiene como progenitor masculino a la variedad ‘Maradol’ selección Tabasco (MST) y como progenitor femenino a la línea “J”, genotipo criollo colectado en Nacajuca, Tabasco. El progenitor J es una planta de porte vigoroso, hojas de color verde oscuro con textura gruesa, frutos de 2 a 3 kg de peso fresco; altura media de 3.5 m; fruto de color naranja con semillas café oscuro y con tolerancia a virosis, sin síntomas visibles de virosis en follaje (Mirafuentes y Azpeitia, 2008) así mismo, ambos progenitores han sido autofecundados durante cinco ciclos para homogenizar sus caracteres, y posteriormente los mejores individuos se seleccionaron por selección masal con base en características fenotípicas como: altura de planta, tamaño de hoja, número de entrenudos, número de flores, número y tamaño de frutos, altura del primer fruto, presencia de síntomas asociados con virosis (enclinamiento del follaje), principalmente; y comparadas con variedades comerciales como ‘Sunrise’, ‘Maradol’ y ‘Tainung’, entre otras. Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue: Conocer la capacidad de adaptación del híbrido MSXJ, en diferentes ambientes y años en los estados de Tabasco, Yucatán y Michoacán.

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló en el Campo Experimental Huimanguillo perteneciente al INIFAP, localizado en el km 1, carretera Huimanguillo-Cárdenas, sus coordenadas son 17°51’04.52”N 93°23’46.96” O, a una elevación de 20 msnm.

Formación de híbrido. El híbrido MSXJ, se desarrolló a partir del progenitor padre a MST que le heredo las características de altura del primer fruto sobre el suelo, color y consistencia del fruto entre otros y como progenitor madre a la línea criolla “J” que le proporciona la tolerancia a enfermedades, ácaros y baja carpeloidia.

Sitios de evaluación. El híbrido MSXJ se evaluó en tres ambientes de México: a) Huimanguillo, Tabasco, este se estableció el 12 de diciembre de 2008 en suelo franco, b) en Mocochoá, Yucatán, el establecimiento se realizó el 1 de diciembre de 2010 en suelo somero y pedregoso y c) en Apatzingán, Michoacán el 11 de julio del 2011 en suelos franco arcillosos. En las tres parcelas se estableció la variedad Maradol comercial como genotipo comparativo y bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Las variables con las que se evaluó la presente investigación fueron: altura de la planta altura al primer fruto, número de frutos, peso de frutos, tipo de frutos (elongatas, intermedia, cornetilla, pentandria) longitud de fruto y diámetro de fruto, éstos datos se tomaron al inicio de la cosecha de cada sitio. Con los datos de número y peso de frutos se estimó la producción por planta y la producción

por hectárea considerando una densidad de población de 2,000 plantas/ha en Tabasco y Yucatán y de 2500 plantas/ha en Michoacán.

Resultados y Discusión

Los resultados se aprecian en el cuadro 1, donde se observa que el híbrido MSXJ tuvo una altura similar al testigo ('Maradol'), con pequeñas diferencias, sobresaliendo los 0.40m que se presentaron en el sitio Michoacán, en el caso de la altura a los primeros frutos, se nota una diferencia entre sitios, sin embargo entre el testigo y el híbrido solamente se tuvo en promedio 0.10 m lo que se considera bajo, ya que el productor no lo considera problema, en relación al número de frutos se observa que en Tabasco y Yucatán, la cantidad de frutos fue mayor para el híbrido en relación al testigo, lo cual es muy probable que se deba a la fecha de siembra, ya que en ambas se sembró en el ciclo otoño-invierno y la floración y fructificación en este ciclo coincide con las altas temperaturas(35-40°) que se presentan en los meses de abril a junio, mismas que ocasionan aborto de flores o bien deformación de éstas que se manifiestan como frutos cornetillas, pentandrias o intermedios(cara de gato) que algunos autores consideran a éstas malformaciones como carpeloidia, éstos frutos deformes no son adecuados para el empaque y por lo tanto el productor los considera de desecho y como consecuencia perdida; en el caso de siembra de primavera verano que se hizo en Michoacán la diferencia no es muy marcada, por ser en promedio siete frutos por planta, pero además el peso de fruto fue mayor en MSXJ que el testigo Maradol comercial.

En este mismo Cuadro se aprecia una diferencia significativa en rendimiento por planta en los tres sitios entre el híbrido y el testigo, donde siempre hubo mayor productividad de MSXJ sobre Maradol, a pesar de que en el sitio Michoacán fue mayor la densidad de plantas por hectárea.

Cuadro 1. Comparación del híbrido MSXJ en diferentes sitios del país, con el testigo 'Maradol'.

Variables	C E Huimanguillo		C E Mochochá		C.E. APATZINGAN	
	MSXJ	Maradol	MSXJ	Maradol	MSXJ	Maradol
Altura de planta (m)	2.1	2.0	2.5	2.22	2.1	1.5
Altura al primer fruto (cm)	44	48	70	69	0.66	0.51
Total de frutos	42	22	39	27	32	25
No. de Frutos elongata	41	12	37	6	40	24
No. de frutos pentandria	0	10	0	0	0	1
No. de frutos intermedios	0	0	0	12	0	0
No. de frutos cornetilla	1	0	1	0	0	0
No. de frutos carpeloides	--	--	1	9	-	-
Peso de fruto (kg)	1.4	1.3	1.7	2.0	1.65	1.14
Longitud de fruto (cm)	25	25	29	28	24	24
Diámetro de fruto (cm)	10	14	13	15	11	13
Rendimiento kg/planta	59	29	63	36	52.8	28.5
Rendimiento t/ha	117	57	125	72	132	71

Lo que se hace evidente es que en las tres fechas el rendimiento por hectárea fue mayor y por lo tanto se recomienda este nuevo híbrido de papaya para las tres regiones y posiblemente para ambos ciclos. En la Figura 1 se presenta las características fenotípicas de la planta y su fruto de este híbrido (Figura 1).

Con relación a la firmeza y sólidos solubles se encontró (Cuadro 2) que MSXJ comparado con Maradol no tuvo significancia por lo tanto se puede seguir el mismo método de manejo y empaque que la variedad Maradol.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden con la propuesta del Consejo Nacional para la producción de papaya (CONAPROPA 2008) donde proponen que para disminuir la problemática en papaya e incrementar la producción es necesario disminuir el daño por plagas y enfermedades, así como disminuir la carpeloidia conservando un tamaño de fruto.

Figura 1. Planta del fruto de papaya en fase inicial de su producción (A), en (B se observa el cultivo del híbrido MSXJ en plena producción y (C) fruto maduro.



Cuadro 2.- Comparación de firmeza y grados brix de MSXJ y otros genotipos (Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente, Tukey 0.05).

VARIEDAD	FIRMEZA(N)	SST(Brix)
MARADOL	9.5 a	10.5 b
AZTECA	7.6 b	10.3 b
SENSACIÓN	7.9 b	11.7 a
INTENZA	6.0 c	10.2 b
SILUEET	6.0 c	12.4 a
LENIA PLUS	8.7 ab	11.3 a
JIBARA	7.9 b	10.3 b
MSXJ	9.9 a	10.6 b

de 1.5 a 2.5 k para consumo nacional y exportación. La siembra de semilla de este híbrido de papayo desarrollado en México permitirá elevar la producción de este cultivo ya que sus frutos poseen las características (cuadros 1 y 2) que el mercado nacional e internacional demanda.

Conclusiones

En los tres sitios el híbrido MSXJ tuvo mayor cantidad de frutos que el testigo Maradol y representó mayor rendimiento. En cuanto a firmeza del fruto, el híbrido es muy similar a Maradol, por lo tanto su manejo y empaque es igual. Es importante indicar que el híbrido MSXJ se adapta a los tres sitios de evaluación en diferentes años y ciclos de cultivo por lo que constituye un híbrido altamente promisorio para incrementar el rendimiento y los ingresos del productor.

Referencias Bibliográficas

CONAPROPA. (2008). Plan rector nacional sistema producto papaya. Documento validado por el comité nacional sistema producto papaya en sesión del 04 de diciembre del 2008.

http://www.propapaya.org/attachments/103_PLAN_RECTOR_NACIONAL.pdf.

Lima R, M Sousa, G (Pio-Ribeiro, R Lima (2002) Sequences of the coat protein gene from Brazilian isolates of papaya ringspotvirus. *Fitopat. Bras.* 27:74-180.

Maruchi, A.; Yoel, T.; Roberto, R.; Emilio, F.; Maikel, A.; y Duglas, R. 2008. Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. *Agricultura Técnica en México.* 34(3):333-339.

Manshardt R M (1992) Papaya. In: *Biotechnology of Perennial Fruit Crops.* F A Hammerschlag, F A Litz, R E Litz (eds.) CAB International, Wallingford, UK. pp: 489-511.

Mirafuentes, F. y Azpeitia, A. 2008. "AZTECA" Primer híbrido de papaya para el trópico de México. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 31(3):291-293.

Noa-Carrazana J C, L Silva-Rosales (2001) First report of a Mexican isolate of Papaya mosaic virus in Papaya (*Carica papaya*) and Pumpkin (Cucurbita pepo). *Plant Dis.* 85:558.

Tennant P, M H Ahmad, D Gonsalves (2005) Field resistance of coat protein transgenic papaya to papaya ringspot virus in Jamaica. *Plant Dis.* 89:841-847.

Vázquez, E.; Mata, H.; Ariza, R.; y Santamaría, B. F. 2010. Producción y manejo postcosecha de papaya Maradol en la planicie Huasteca. Libro técnico No. 4. Campo Experimental las Huastecas. INIFAP

EVALUACIÓN DE TRAMPAS Y ATRAYENTES PARA EL MONITOREO DE (*Rhagoletis pomonella* Walsh). EN TEJOCOTE EN CHAPINGO, MÉXICO

Resumen

El tejocote es un cultivo de importancia económica en ciertas regiones del centro de México. No se tienen sistemas de manejo de la mosca de la fruta (*Rhagoletis pomonella*), por lo que es común que se presenten pérdidas cercanas al 100% de los frutos. En esta investigación los objetivos fueron: evaluar la eficacia de dos tipos de trampas con cuatro colores diferentes colocadas en una huerta de *Crataegus* spp. como un método de monitoreo de *R. pomonella*, conocer si existe interacción entre los tratamientos donde se utilizó proteína hidrolizada y Spinosad con la finalidad de identificar cual es más eficiente como atrayente de *R. pomonella*. El estudio se realizó del 21 de agosto al 14 de octubre de 2011 en el Banco de Germoplasma de *Crataegus* spp. de la Universidad Autónoma Chapingo. Se establecieron tres experimentos: 1. Trampas pegajosas (panel y esférica); con colores amarillo, naranja, blanco y rojo. 2. Evaluación de trampas pegajosas más proteína hidrolizada. 3. Evaluación de trampas pegajosas con adición de Spinosad y proteína hidrolizada. Se concluye que: 1. La trampa tipo panel resultó ser la mejor en la captura de *R. pomonella*. 2. El color de trampa más atractivo es el amarillo. 3. Sí hay interacción entre el tipo de trampa, color de trampa y el uso del atrayente.

Palabras clave: *Rhagoletis pomonella*, trampas, tejocote, atrayentes

¹Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO. Correo-e:franz_3001@hotmail.com ²Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO. Correo-e:vm Pinto@correo.chapingo.mx (¶Autor responsable). ³Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Km. 36.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO. Correo-e:eh.nieto@hotmail.com

Introducción

México es un país mega diverso en especies animales y vegetales, dentro de estas últimas se incluyen árboles frutales, los cuales presentan gran importancia para la sociedad (Nieto, 2007), ya que muchos de estos son utilizados desde la época prehispánica, uno de ellos es el tejocote (*Crataegus* spp.), el cual agrupa alrededor de 150 especies, 13 de ellas se encuentran en México.

El tejocote es un cultivo sin mejoramiento genético formal (Núñez-Colín *et al.*, 2009); sin embargo, ha venido adquiriendo una alta relevancia comercial entre la población latina de los Estados Unidos (Karp, 2010).

En México los principales estados productores de tejocote son México, Puebla, Zacatecas, Jalisco, Chiapas, Oaxaca, y el Distrito Federal.

El grupo de especies de *Crataegus* que predominan en México son el *C. pubescens* y *C. mexicana*, y aunque se tienen dudas del origen del tejocote, se cree que éstas se originaron de *C. scabrifolia* que tiene su hábitat en el este del continente asiático, sin embargo, no se descarta a México como posible centro de origen (Phipps, 1983).

No existen variedades bien definidas y por ser una especie semidoméstica no se han hecho estudios para clasificarlas, pero existen algunas diferencias morfológicas principalmente en el fruto que sirve para que los productores las identifiquen (Anónimo, 1975).

Una de estas variedades es la “Pecosa” llamándose así por el aspecto que presenta la fruta, no siendo este precisamente su nombre sino sólo una característica de ella, ya que dentro de los frutos pecosos existen muchas otras diferencias. Existe también la denominada “Chapeada” por la característica de tener en algunas partes del fruto aspectos rosados que no es homogéneo en todo el fruto, sin embargo al igual que el grupo anterior existen características diferenciales. Otra variedad es la “Criolla”, llamada sí por su fruto pequeño y el árbol es muy espinoso (Chávez, 1970).

Muñiz (2011) menciona que las variedades de tejocote con las que cuentan los productores de las comunidades del centro de México son “chapeado”, “guinda”, “amarillo”, “criollo”, “pecoso” y “rojo”, la primera abarca el 95% del total de las variedades presentes. Algunos productores refieren que la variedad “guinda” es atacada en menor grado por la mosca y el picudo del tejocote, sin embargo, un 50% ha observado que el ataque de plagas es igual en cualquier variedad que se presenten.

La producción anual de tejocote se estima en 11,000 t anuales de las cuales se industrializan un promedio de dos mil toneladas (Pedroza-Islas *et al.*, 1995; Nieto, 2007).

El tejocote tiene amplio potencial para ser usado en la industria, principalmente alimenticia. En los últimos 4 años las empresas jugueras representan un gran potencial para la apertura de mercados

con este frutal (Muñiz, 2011). Estudios sobre el contenido de pectina en el fruto del tejocote ofrecen resultados prometedores, por lo que se considera al fruto de tejocote como una fuente importante de sustancias pécticas (Barrientos y López, 1995).

Mosca de la fruta

Las moscas de la fruta representan un serio problema para la fruticultura ya que ocasionan pérdidas importantes en un gran número de frutales en el mundo. Los daños directos (larvas dentro del fruto) o indirectos (limitaciones en la comercialización) causan pérdidas millonarias e incluso pueden provocar la pérdida de zonas frutícolas (Aluja, 1984). De la familia Tephritidae existen aproximadamente 4000 especies en el mundo y 100 en México. Sus larvas se alimentan, de los tejidos vivos de la planta. Desde el punto de vista económico y cuarentenario son importantes las pertenecientes a los géneros *Anastrepha*, *Ceratitis*, *Rhagoletis* y *Toxotrypana* (Hernández, 1993).

Rhagoletis pomonella se ubica taxonómicamente en la familia Tephritidae (Aluja y Norrbom, 2000). El género *Rhagoletis* comprende cuatro especies descritas: *R. pomonella* (Walsh), *R. mendax* (Curran), *R. zephyria* (Snow) y *R. cornivora* (Bush), las cuales se distribuyen particularmente en Norteamérica, no obstante, al menos la primera mantiene poblaciones alopatricas en México (Bush, 1966).

En México, *R. pomonella* está distribuida principalmente en las zonas templadas (Aluja, 1993), infestando al menos cinco de las 13 especies de tejocote (*Crataegus mexicana*, *C. rosei*, *C. parrayana*, *C. greggiana* y *C. cuprina*) presentes en la mayor parte del país donde se encuentra este frutal de forma natural (1600-2800 msnm), con excepción de una franja de 90 km en el Eje Volcánico Mexicano de lado del Altiplano Central contiguo a la transición hacia la Sierra Madre Oriental, el sector noroeste de México y la Sierra Madre del Sur (Rull *et al.*, 2006).

Las oviposturas de *R. pomonella*, en frutos de pulpa firme, provoca la formación de una pequeña depresión en la superficie del área afectada. En el caso de frutos de pulpa blanda, el tejido que rodea el orificio de postura se torna de color oscuro y con un inicio de pudrición. Las larvas una vez emergidas, horadan activamente la pulpa, visualizándose este daño como finos túneles de color pardo. En la medida que las larvas aumentan su tamaño, los túneles también se agrandan, lo que normalmente se acompaña por la infección de los tejidos del fruto por bacterias u hongos. En ocasiones esta infección puede comprometer el 100% la pulpa de la fruta, observándose una pudrición generalizada.

Para la detección de las poblaciones de *Rhagoletis* han sido utilizados diversos tipos de trampas a través de estímulos visuales como formas y colores, olores sintéticos de frutos y atrayentes alimenticios. En tanto que los resultados de un estudio enfocado a evaluar la eficiencia de atracción en diferentes estados fisiológicos de *R. pomonella* en huertos de manzana, basado en la comparación de trampas cebadas con olores atrayentes basados en frutos y la presencia-ausencia de alimento, sugieren que las estrategias de trapeo deben enfocarse al uso de atrayentes basados en olores de frutos en lugar de atrayentes alimenticios (Rull y Prokopy, 2000).

Métodos de control en mosca de la fruta

Control legal. El control legal se ejecuta a través de Normas Oficiales Mexicanas en materia fitosanitaria que establecen regulaciones para la movilización de productos hospederos de mosca de la fruta (Gutiérrez, 2002). Algunas Normas Oficiales Mexicanas son: **NOM-023-FITO-1995**. Por la que se establece la Campaña Nacional contra Moscas la Fruta. **NOM-075-FITO-1997**. Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta y **NOM-076-FITO-1999**. Sistema preventivo y dispositivo nacional de emergencia contra moscas exóticas de la fruta.

Control cultural y mecánico. Consiste en actividades muy sencillas que el productor debe realizar en sus huertos, como la recolección y destrucción de frutos, barbecho, rastreo y podas sanitarias. De realizar con oportunidad estas actividades, se puede reducir hasta en un 60% o más la presencia de la plaga en los huertos.

Control biológico. Es una estrategia para controlar la plaga haciendo uso de enemigos naturales vivos, antagonistas o competidores, y otras entidades bióticas que se duplican así mismo. Entre los diferentes enemigos naturales que podemos emplear como enemigos de la plaga se encuentran: parasitoides, depredadores y patógenos. Teniendo como principales enemigos a los parasitoides, los que atacan a las moscas de la fruta no son específicos, en cuanto a la especie que parasitan y en general su potencial de incremento no es elevado. Existen muchas especies de parasitoides, destacando las familias: Eulophidae, Braconidae y Pteromalidae (Aluja, 1993).

Control químico. Para el control químico de moscas de la fruta se utiliza una mezcla de insecticidas y atrayente alimenticio para elaborar un cebo selectivo, de tal manera que las gotas de la mezcla resultan más atractivos que el alimento natural de las moscas.

Cebo selectivo. La aplicación del cebo selectivo, compuesto por la mezcla del insecticida, proteína hidrolizada y agua, puede ser en forma terrestre o aérea. Se deben utilizar las proteínas hidrolizadas y el insecticida que se indiquen en el Catálogo Oficial de Plaguicidas vigente editado por la CICOPLA-FEST. Este cebo selectivo reduce la cantidad de insecticida empleado e incrementa la efectividad del control, en comparación con las aplicaciones tradicionales de insecticidas.

Atrayentes utilizados en el control químico: 1. Proteína hidrolizada (Winner 360®). Es un atrayente de mosca de la fruta, contiene aminoácidos derivados de la hidrólisis de proteínas vegetales, recomendado como materia base para ser mezclado con insecticidas autorizados en la preparación de cebos para la detección, monitoreo y control de mosca de la fruta. 2. Spinosad (GF-120®). Posee el ingrediente activo (i.a) Spinosad, que ha demostrado un excelente control de muchas especies de insectos que atacan a los cultivos. Es ideal para un manejo integrado de plagas, ya que es altamente selectivo a insectos benéficos. Especialmente diseñado para el control de la mosca de la fruta y formulado como Cebo Concentrado (CB) para ser diluido directamente en el agua, no necesita de atrayentes.

El tejocote es un cultivo de importancia económica en ciertas regiones del centro de México y en otras zonas de pequeña producción, no se tienen sistemas de manejo de la mosca de la fruta (*Rhagoletis pomonella*), por lo que es común que se presenten pérdidas cercanas al 100% de los frutos por el ataque de esta plaga (Hernández-Ortíz *et al.*, 2004). Los objetivos en son:

Evaluar la eficacia de dos tipos de trampas pegajosas con cuatro colores diferentes mediante la colocación de las mismas en una huerta de *Crataegus* spp. como un método de monitoreo de *Rhagoletis pomonella*.

Conocer si existe algún tipo de interacción entre los tratamientos donde se utilizó proteína hidrolizada y Spinosad con la finalidad de identificar cual es más eficiente como atrayente de *R. pomonella*.

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en el Banco de Germoplasma de *Crataegus* spp. que se encuentra ubicado en Lomas de San Juan dentro del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapinango. Su localización geográfica es 19°29'31.42"N, 98°51'26.14"O.

Condiciones ambientales del área de estudio

El clima de la zona es C (Wo) (w) b (i') g; templado moderado lluvioso y el más seco de los sub húmedos, con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 17.8° C y la precipitación es del orden de los 644.8 mm, con un promedio de 96 días de lluvia, incidiendo la máxima lluvia durante el mes de julio y la mínima en el mes de enero (García, 1981).

Características de la huerta

El banco de germoplasma tiene una colección de 91 accesiones con 26 años de edad. El germoplasma utilizado es de una huerta de la accesión chapeado. Los árboles de tejocote están establecidos a una distancia entre árboles de 1.5 m. y entre hileras de 2.5 m.

Materiales

Material utilizado en la elaboración y revisión de trampas: esferas de unicel de 10 cm de diámetro, charolas lisas de unicel de 31 cm x 23.5 cm, proteína hidrolizada (Winner 360®), Spinosad (GF-120®), pegamento agrícola (Stick bug®), papel adherente (Kleen pack®), tubos de micro centrifuga (dispensadores), trampas Multilure® (5), pintura colores amarillo, naranja, blanco y rojo, agua, pinzas, brocha, escalera, jeringa, hilo rafia.

Metodología

Elaboración de las trampas pegajosas. Se elaboraron manualmente trampas pegajosas utilizando esferas de unicel de 10 cm de diámetro, charolas lisas de unicel de 31 cm x 23.5 cm, pegamento agrícola (Stick bug®), papel adherente (Kleen pack®), brocha y pintura de colores amarillo, naranja, blanco y rojo.

Montaje de los experimentos. Durante el ciclo de producción del año 2012, se llevaron a cabo tres experimentos con distinta época de evaluación.

Experimento I

Evaluación de trampas pegajosas. Se colocaron dos tipos de trampas pegajosas: panel y esférica; cada una de éstas en color: amarillo, naranja, blanco y rojo. Para este experimento se utilizaron 11 hileras, la disposición de las trampas se efectuó de manera completamente al azar. Una vez colocadas las trampas pegajosas se colocaron las trampas Multilure con una distribución de cinco de Oros utilizadas únicamente para monitorear la presencia de *R. pomonella* en la huerta. Las trampas se colocaron en el tercio superior del árbol en un lugar con orientación al este y con buena circulación del viento.

El establecimiento se realizó el 21 de agosto y las evaluaciones se realizaron el 4 y el 19 de septiembre del año 2011.

Experimento II

Evaluación de trampas pegajosas más proteína hidrolizada. Para este experimento se ocuparon 10 hileras de la huerta, en cada hilera se colocaron al azar trampas pegajosas: cuatro en forma esférica y cuatro en forma de panel cada una de diferente color. La disposición de las trampas se efectuó de manera completamente al azar. Una vez colocadas las trampas pegajosas se colocaron las trampas Multilure con una distribución de cinco de Oros. Las trampas se colocaron en el tercio superior del árbol en un lugar con orientación al este y con buena circulación del viento. El establecimiento se realizó el 23 de septiembre y las evaluaciones se realizaron el 30 de septiembre y el 9 de octubre de 2011.

Experimento III

Evaluación de trampas pegajosas con adición de los i.a Spinosad y proteína hidrolizada. Para este experimento se ocuparon nueve hileras de la huerta, en cada hilera se colocaron al azar trampas pegajosas: cuatro en forma esférica y cuatro en forma de panel cada una de diferente color. La disposición de las trampas se efectuó de manera completamente al azar. Una vez colocadas las trampas pegajosas se colocaron las trampas Multilure con una distribución de cinco de Oros. El establecimiento del experimento se realizó el 9 de octubre y la evaluación se realizó el 14 de octubre de 2011.

IV. Resultados y Discusión

Experimento I

En este primer experimento se evaluaron únicamente el tipo de trampa (panel y esférica) y el color de trampa (amarillo, naranja, blanco y rojo). Se llevaron a cabo dos evaluaciones.

El Cuadro 1 muestra el análisis de varianza correspondiente a la captura de *Rhagoletis pomonella*, según los datos obtenidos en el experimento I, 1ª evaluación. El cual no muestra diferencia estadís-

tica significativa entre tipo de trampa (panel y esférica) y color de trampa (amarillo, naranja, blanco y rojo). Además se observa que no hay efecto de interacción entre el tipo y el color de las trampas.

El Cuadro 2 muestra el análisis de varianza correspondiente a la captura de *R. pomonella*, según los datos obtenidos en el experimento I, 2ª evaluación. El cual no muestra diferencia estadística significativa entre tipo o forma de la trampa (panel y esférica), pero si hubo diferencia significativa en el color de la trampa (amarillo, naranja, blanco y rojo), resultando mejor el color amarillo (Cuadro 3). Y se observa que no hay efecto de interacción entre el tipo y el color de las trampas.

El Cuadro 3 muestra la prueba de Tukey para color correspondiente a la captura de *R. pomonella*, según los datos obtenidos en el experimento I, 2ª evaluación. El cual muestra que de los cuatro colores de trampas evaluados, el mejor color para la captura de *R. pomonella* es el color amarillo.

Experimento II

Para este experimento además de tipo y color de las trampas se agregó a la evaluación un atrayente: proteína hidrolizada (Winner 360®) y se realizaron dos evaluaciones.

En la primera evaluación, el Cuadro 4 del análisis de varianza indica que hubo diferencia estadística significativa en el tipo de trampa (panel y esférica) y también en el color de la trampa (amarillo, naranja, blanco y rojo). Sin embargo no hubo efecto de interacción entre tipo*color, tipo*atrayente, color*atrayente y tipo*color*atrayente.

Con respecto a la prueba de Tukey, en el Cuadro 5 se observa que de los dos tipos de trampas evaluados, la forma esférica es la que resultó mejor.

En el Cuadro 6 muestra la prueba de Tukey para el color de trampa, se indica que el color amarillo resultó mejor con un promedio mayor de insectos capturados, con respecto al naranja, rojo y blanco. En el mismo experimento II con respecto a la 2ª evaluación, en el Cuadro 7, existe diferencia estadística significativa únicamente en el color de la trampa. Esto se indica en el cuadro 8 en donde se muestra que el color amarillo es mejor con respecto al naranja, blanco y rojo.

Experimento III

En este experimento además de tipo de trampa, color de las trampa y la proteína hidrolizada (Winner 360®) se adicionó a la evaluación otro atrayente Spinosad (GF-120®), y solo se realizó una evaluación.

En el Cuadro 9 se muestra que si hubo diferencia estadística significativa en el tipo de trampa (panel y esférica), en el color de la trampa (amarillo, naranja, blanco y rojo), en el atrayente (G-F120 y proteína hidrolizada) y en sus interacciones (tipo*color), (tipo*atrayente), (color*atrayente) y (tipo*color*atrayente).

En el Cuadro 10 y Cuadro 11 la prueba de Tukey indica para ambos casos que si existe diferencia en tipo y color de trampa respectivamente, resultando mejor la trampa tipo panel y de color amarillo. En el Cuadro 12 de acuerdo a la prueba de Tukey se observa que el uso de un atrayente (proteína hidrolizada ó G-F 120) es conveniente para la captura de *R. pomonella*, ya que resultó ser mejor comparado con el testigo utilizado (agua).

La interacción tipo*color que se indica en el Cuadro 13, muestra de acuerdo a la prueba de Tukey que resultó mejor la combinación de trampa tipo panel con el color amarillo. En el Cuadro 14 en la interacción tipo*atrayente según la prueba de Tukey resultaron mejores las tipo panel con la proteína hidrolizada y panel con G-F120 (panel*atrayente).

La interacción color*atrayente se indica en el Cuadro 15 y de acuerdo a la prueba de Tukey resultaron mejor la trampa color amarillo con la proteína hidrolizada y el G-F120.

Con respecto a la interacción tipo*color* atrayente en el Cuadro 16 se observa que resultó mejor la interacción tipo de trampa panel, de color amarillo y con atrayente (proteína hidrolizada ó G-F 120).

Conclusiones

La trampa tipo panel resultó ser la mejor en la captura de *Rhagoletis pomonella*.

El color de trampa más atractivo para capturar *R. pomonella* es el amarillo.

Si hay efecto de interacción entre el tipo de trampa, el color de trampa y la utilización del atrayente proteína hidrolizada (Winner 360®) ó Spinosad (GF-120®)

La mejor interacción para capturar *R. pomonella* en el cultivo de tejocote es la trampa tipo panel, de color amarillo y usando un atrayente (proteína hidrolizada ó Spinosad).

Literatura Citada

ALUJA, S.M. 1984. Manejo Integrado de la Mosca de la Fruta. 1ª reimp. México, D. F. pp.251

ALUJA, S. M. 1993. Manejo Integrado de Moscas de la Fruta. Ed. Trillas. México. 241 p.

BARRIETOS, P. A.F.; LÓPEZ, S. J.1995. Selección de variables morfológicas para la caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.)

HERNANDEZ, O. V.; GOMEZ, A. J. A.; SANCHEZ, A.; MCPHERON, B. A.; ALUJA, M. 2004. Morphometric Analysis of Mexican and South American Populations of the *Anastrepha fraterculus* Complex (Diptera: Tephritidae) and Recognition of a Distinct Mexican Morphotype. Bull. Entomol. Res. 94:487-499.

KARP, D. 2010. Tejocote: No Longer Forbidden. Fruit Gardener 42 (6):10-13.

MUÑIZ, R. E. 2011. Exploración de Enemigos Naturales Nativos de *Rhagoletis pomonella* Walsh. (Diptera:

Tephritidae) en Tejocote *Crataegus* spp. En Comunidades del Centro de México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. México.

NIETO, A. R. (2007). “Colección, conservación y caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.)”, en A. R. Nieto (Ed.). Frutales nativos un recurso fitogenético de México. Uach. México.

NÚÑEZ, C. C. A.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOSPRIEGO, A. F.; SEGURA, S.; SAHAGÚNCASSELLANOS, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS F. 2008. Distribución y caracterización eco-climática del género *Crataegus* (Rosaceae subfam. Maloideae) en México. Revista Chapingo serie Horticultura 14 (2): 177-184.

PEDROZA, I. R.; GALLARDO, E.J. 1995. ; NIETO, A. R. 2007. “Colección, conservación y caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.)”, en A. R. Nieto (Ed.). Frutales Nativos un Recurso Fitogenético de México. Uach. México.

PHIPPS, J. B.; ROBERTSON, K. R.; SMITH, P. G.; ROHRER, J. R. 1990. A Check List of the Subfamily Maloideae (Rosaceae). Canadian Journal of Botany 68: 2209-2269.

RULL, J. R.; PROKOPY, R.J. 2000. Attraction of Apple maggot flies, *Rhagoletis pomonella* (Diptera: Tephritidae) of different physiological states to odour-baited traps in the presence and absence of food. Bull. Entomol. Res. 90: 77-78.

RULL, J. M.; ALUJA, J. L.; FEDER, S. H. B. 2006. The Distribution and Host Range of Haw Thornin Festing *Rhagoletis* spp (Diptera: Tephritidae) in Mexico. Annals of the Entomological Society of America, 99: 662-672.

TERMOTERAPIA Y PRIMING EN SEMILLA DE TOMATE DE CÁSCARA PARA ELIMINAR VIRUS Y MANTENER SU CALIDAD FISIOLÓGICA

Resumen

En tomate de cáscara las enfermedades virales representan el mayor problema a nivel nacional, tanto por el daño que causan, como por la dificultad que implica su control, cuyos daños son tan severos que llegan a causar pérdidas de hasta el 100% en producción. Por lo cual, en esta investigación se aplicó termoterapia y priming sobre semillas de tomate de cáscara con los objetivos de inactivar los virus AMV y CMV transmitidos por esta vía y mejorar la calidad sanitaria y fisiológica. La termoterapia consistió en someter las semillas a 4 temperaturas: 50, 70, 90 y 120° C durante 45 y 60 minutos. Una vez concluida esta fase se procedió a la aplicación de priming, con el propósito de restaurar las semillas dañadas por las temperaturas a las cuales fueron sometidas. Esta técnica se realizó sumergiendo las semillas en una solución de nitrato de potasio a -20 atm durante 48 horas. Además se estableció un testigo absoluto, que no recibió termoterapia y priming. Se evaluó la calidad fisiológica de acuerdo con las reglas de la ISTA y la calidad sanitaria por medio de la prueba DAS-ELISA. Los resultados obtenidos indican que la mejor calidad fisiológica con un porcentaje de germinación de 63.6667, se obtuvo al aplicar termoterapia a 50°C durante 45 minutos y priming a -20 atm durante 48 horas, el cual resultó libre del virus AMV, y positivo al CMV, mientras el testigo resultó positivo para ambos virus y con la menor calidad fisiológica.

Palabras clave: Osmoacondicionamiento, Calidad sanitaria, AMV, CMV

Introducción

En México se siembran 512 000 ha con hortalizas, de las cuales 152 742 ha fueron sembradas con chile, 48 813 ha con tomate de cáscara y 53 780 ha con tomate rojo en el año 2012 (SIAP, 2012). En cultivos hortícolas, las enfermedades constituyen uno de los factores de mayor riesgo para su producción, de éstas, en los últimos años, las causadas por virus han ocasionado fuertes pérdidas económicas (Pérez *et al.*, 2004), lo cual ha alcanzado hasta el 100% de pérdidas en la producción, mismas que varían año con año, en función de las condiciones climáticas, manejo del cultivo, control químico y cultural de insectos y malezas (Vidales y Alcantar, 1989; INIFAP, 2004).

Las enfermedades virales en tomate de cáscara representan el mayor problema a nivel nacional en este cultivo tanto por el daño que causan, como por la dificultad que implica su control (PRODUCE, 2005; INIFAP, 2004, De la Torre *et al.*, 2002). Los síntomas más comunes son mosaicos de ligeros a severos, deformación o reducción de la lámina foliar, moteados amarillo y cálico, sobre brotación foliar, con reducción del tamaño de hojas y entrenudos, que ocasiona enanismo en la planta, epinastía media de hojas y diversos tipos de amarillamiento (De la Torre, 1996). Los virus que se han detectado en este cultivo son Cucumber mosaic cucumovirus (virus mosaico del pepino, CMV), Tobacco mosaic tobamovirus (virus mosaico del tabaco, TMV), Tobacco etch potyvirus (virus jaspeado del tabaco, TEV), Tomato spotted wilt tospovirus (virus de la marchitez manchada del tomate, TSWV), Tobacco ringspot nepovirus (virus de la mancha anular del tabaco, TRSV) y Alfalfa mosaic alfamovirus (virus mosaico del alfalfa, AMV) (De la Torre *et al.*, 2002).

El Alfalfa mosaic alfamovirus (virus mosaico de la alfalfa, AMV), se transmite de manera mecánica (Hull, 2002), por áfidos y semilla en alfalfa (Zadjali *et al.*, 2002) y chile habanero (Tun, 2006). Las plantas de tomate de cáscara infectadas con este patógeno muestran hojas con manchas cloróticas de color amarillo, por lo cual se le llama también mosaico cálico, además se observa aclaramiento de nervaduras, moteados cloróticos y acortamiento de entrenudos; en infecciones tempranas puede causar pérdida total (INIFAP, 2004). En el caso del Cucumber mosaic cucumovirus (virus mosaico del pepino, CMV); es transmitido por áfidos (Hull, 2002) y por semilla en frijol de cuerno (*Vigna unguiculata* L.) (Guillaspie *et al.*, 1998). En tomate de cáscara provoca achaparramiento, disminuye la producción en cantidad y calidad, las hojas jóvenes en proceso de desarrollo muestran moteado, se deforman, arrugan y sus bordes comienzan a enrollarse y se agrupan a manera de roseta. Las plantas se quedan enanas debido a que los entrenudos y peciolo del tallo se acortan, forman pocas flores y frutos (INIFAP, 2004). Las enfermedades virales en plantas constituyen una de las principales causas de pérdidas en la agricultura, sobre todo cuando son transmitidos por semilla, cuyas pérdidas alcanzan valores de hasta el 100% en tomate de cáscara. La magnitud que alcanzan dichas pérdidas se debe en gran medida a la carencia de métodos eficaces para el control de virus fitopatógenos (Flores, 2004). Dada la demanda de semilla de estos cultivos, es importante conocer los problemas inherentes a su producción; de manera general, se tiene el problema de emplear semilla de baja calidad sanitaria, incluso fisiológica.

La transmisión por semilla constituye uno de los factores más importantes en el desarrollo epidémico de algunos virus, y dan origen a plántulas que representarán una fuente de inóculo inicial temprana. De esta forma, las plántulas infectadas constituyen reservorios a partir de los cuales ocurre la dispersión secundaria del virus, lo cual sucede por transmisión mecánica o mediante vectores. Los virus asociados con las semillas son acarreados de dos formas: como una infección o como una infestación; la infección implica que el virus es llevado internamente, inmerso en los tejidos de la semilla y cuando el virus es llevado pasivamente se le conoce como infestación o contaminación; esta forma de transmisión se conoce como transmisión vertical de virus (Sepúlveda, 2011). La transmisión por semilla es un punto de partida idóneo para el establecimiento de una enfermedad en campo; primero, permite que la infección se produzca en las etapas iniciales del desarrollo de la plántula, factor que será decisivo en la severidad que alcanzará la infección viral, y en segundo lugar, la infección de la semilla permitirá la aparición en campo, de plántulas infectadas distribuidas al azar, que constituirán reservorios del virus y focos de dispersión secundaria de la enfermedad bien sea de manera mecánica o por vectores (Córdoba, 2010).

La virosis constituye el principal factor que limita la producción en tomate de cáscara, en la mayoría de las zonas productoras de México. La importancia de esta enfermedad se ha magnificado, porque los materiales de este cultivo son altamente susceptibles al complejo viral predominante. Las plantas enfermas presentan mosaico, moteado, palidez, amarillamiento, achaparramiento y enchinamiento; también bronceado, quemaduras en las punta de las ramas, deformación de hojas y tallos; mientras los frutos pueden ser escasos y de menor tamaño, lo que depende de la etapa del cultivo al momento de la infección (Apodaca *et al.*, 2008).

Alternativas para la Eliminación de Virus

Tratamiento químico mediante antivirales. Livingston y Toussaint *et al.* citados por Parmessur y Saumtally (2001) y (Parmessur, *et al.*, 2002), afirman que se ha reportado el uso de agentes antivirales para la eliminación de algunos virus; estos compuestos fueron inicialmente utilizados en humanos y animales pero dado su amplio espectro se emplearon también para eliminar virus en plantas. En la actualidad, una alternativa ante la falta de fuentes de resistencia genética puede ser la activación de la resistencia sistémica adquirida (SAR), el cual es un mecanismo que activa la expresión de proteínas de resistencia (PR protein) mediante el uso de moléculas elicitoras que generan este tipo de respuestas en las células vegetales (Gozzo, 2004; Momol *et al.*, 2004). Recientemente se han registrado trabajos en banano, tomate y arroz, en los que han empleado agentes inductores de SAR, entre los que se encuentra el ácido salicílico, Acibenzolar-S-Methyl (Pradhanang *et al.*, 2005; Romero *et al.*, 2001), β -aminobutyric acid (BABA), sacarina; entre otras moléculas (Gozzo, 2004; Momol *et al.*, 2004).

Termoterapia. En este sistema la semilla es colocada en el interior de una incubadora que le proporciona temperaturas que superan el punto de inactivación térmica de los virus, sin embargo la calidad fisiológica es afectada al reducirse de manera drástica los porcentajes de germinación de ahí

el inconveniente de utilizar esta alternativa (Castillo *et al.*, 2003). Sin embargo hay en la actualidad técnicas que logran incrementar la calidad fisiológica de las semillas, como el priming, cuya técnica se ha reportado como un método eficaz para mejorar la calidad fisiológica de la semilla a través de la uniformidad y porcentaje de germinación (Parera y Cantliffe, 1994).

Por lo anterior, es necesario inactivar los virus transmitidos por semilla en tomate de cáscara sin perder su calidad fisiológica; debido a que la transmisión por esta vía se constituye como la fuente primaria de diseminación y perpetuación de estos patógenos, que en combinación con la presencia de insectos vectores puede causar pérdida total de los cultivos, sobre todo porque en la actualidad ninguna empresa ofrece semilla libre de virus, aunado a que no se cuenta con variedades resistentes. Los objetivos del presente trabajo fueron inactivar los virus alfalfa mosaic Alfamovirus (AMV) y cucumber mosaic cucumovirus (CMV) en la semilla de tomate de cáscara mediante termoterapia y posterior priming para recuperar su calidad fisiológica deteriorada durante la termoterapia.

Materiales y Métodos

Ubicación del Experimento. La investigación se desarrolló en el laboratorio de Parasitología e invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ubicada en el Ejido de la Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., en el Km. 14.5 de la carretera San Luis Potosí – Matehuala a 100°56' de longitud oeste y 22°11' de latitud norte, con una altura de 1,850 metros sobre el nivel del mar.

Material Genético. Para el desarrollo del experimento, se empleó semilla de tomate de cáscara variedad CHF3, infectada con los virus AMV y CMV, producida en invernadero e hidroponía y cosechada en el año 2007, misma que se mantuvo conservada en refrigeración a -4°C.

Desarrollo del Experimento. Esta investigación se realizó en tres fases; la primera consistió en aplicar termoterapia a las semillas de tomate de cáscara con el propósito de inactivar los virus AMV y CMV; en la segunda, se utilizó la técnica priming para regenerar las estructuras que fueron dañadas por las elevadas temperaturas utilizadas durante la primer fase. Al finalizar éstas, se procedió a realizar las pruebas de calidad fisiológica y sanitaria para determinar los porcentajes de germinación y detección de virus en plántula, lo cual constituyó la tercera fase.

Primer fase: Termoterapia. Consistió en someter las semillas de tomate de cáscara a cuatro temperaturas (50°C, 70°C, 90°C y 120°C) durante dos periodos (45 y 60 min) en un horno de secado Felisa®, para conformar 8 tratamientos de 400 semillas cada uno (ISTA, 2004). Los grupos de semillas fueron colocados en el interior de sobres e introducidos a la estufa para recibir los tratamientos correspondientes durante los periodos señalados.

Segunda fase: Priming. Posterior a la termoterapia, se aplicó priming, el cual consistió en sumergir

200 semillas de cada uno de los 8 tratamientos anteriores en soluciones de KNO_3 a -20 atm de presión durante 48 horas y las otras 200 semillas en agua destilada (Marín *et al.*, 2007), en frascos de 25 ml, empleando una bomba de aire para oxigenar las semillas y mantenerlas vivas (Welbaum *et al.*, 1998). Al término del tiempo, se lavaron con agua corriente para eliminar los residuos del agente utilizados durante el tratamiento. Al conjuntar las dos primeras fases, se conformaron 16 tratamientos, al considerar cuatro temperaturas de termoterapia durante dos períodos, más priming con KNO_3 y Agua destilada ($4 \times 2 \times 2 = 16$). Además se incluyó un testigo absoluto, el cual no recibió termoterapia y priming. Para preparar las soluciones de priming se utilizó agua destilada para disolver el KNO_3 requerido para obtener el potencial osmótico de -20 atm; el cual fue calculado de acuerdo con la ecuación propuesta por Wiggans y Gardner (1959). Después de las 48 horas de tratamiento osmótico, las semillas se extrajeron de los frasco y lavadas en agua corriente para eliminar los residuos del a KNO_3 y se colocaron 27 en charolas de unicel durante 48 horas para lograr su secado y posterior almacenamiento a -2°C durante seis días y pasar a la tercer fase.

Tercera fase: Pruebas de calidad fisiológica y sanitaria

Al término de la termoterapia y priming se realizaron las pruebas de calidad fisiológica y sanitaria. Para realizar las pruebas de calidad fisiológica se emplearon 100 semillas de cada uno de los 16 tratamientos generados de la combinación termoterapia + priming, además del testigo absoluto. Con éstas 100 semillas se conformaron cuatro submuestras (repeticiones) de 25 semillas y se colocaron en cajas de Petri que contenían papel filtro como sustrato y se regaron con agua destilada para ser introducidas en una germinadora Seedburo® calibrada a $29^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ (Figura 4). Durante esta prueba de germinación se realizaron dos conteos; el primero se tomó al 7° día y el segundo al día 28 (ISTA, 2004). Las variables evaluadas fueron peso seco por plántula, porcentaje de plántulas normales y anormales, y sobre aquellas semillas que no emitieron radícula al finalizar este lapso, se realizó la prueba de viabilidad con tetrazolio para determinar el porcentaje de semillas muertas y latentes; proceso que consistió en realizar un corte transversal en cada semilla y se colocaron en cajas Petri, en una solución de tetrazolio a una concentración de 0.1% con agua destilada, las cuales se mantuvieron en oscuridad durante 12 horas. Las semillas cuyos embriones y cotiledones colorearon por completo se consideraron latentes, y las no teñidas se consideraron muertas (ISTA, 2004). El porcentaje de germinación se obtuvo al sumar el total de las plántulas normales del primer y segundo conteo. De igual manera, el porcentaje de plántulas anormales se obtuvo del total de aquellas con malformaciones en sus estructuras esenciales como radícula y plúmula, lo que impide su desarrollo normal. El peso seco se determinó sobre las plántulas normales de cada tratamiento, mismas que fueron secadas en estufa hasta alcanzar peso constante y se registró su peso (ISTA, 2004).

Pruebas de calidad sanitaria. Una vez aplicada la termoterapia y priming, y paralelo a las pruebas de germinación, se sembraron cinco semillas de cada tratamiento en charolas de poliestireno que contenían peat moss® como sustrato. La siembra en las charolas se realizó depositando una semilla cada dos cavidades para evitar posible transmisión de virus por contacto entre plantas sanas e infectadas, y fueron introducidas en jaulas construidas con alambón cubiertas con organza para impedir el acceso de insectos vectores (áfidos). Las jaulas permanecieron en condiciones protegidas en invernadero

durante 60 días, periodo en el cual las plantas mostraban síntomas de infección viral como distorsión foliar y amarillamiento; momento en el cual se tomaron 3 gramos de las plántulas de cada para la detección de los virus AMV y CMV.

Diseño Experimental. Se aplicaron 16 tratamientos más un testigo absoluto y cuatro repeticiones en un diseño completamente al azar.

Análisis Estadístico. Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza y posterior comparación de medias mediante Tukey ($\alpha = 0.05$) con el paquete estadístico SAS 2004 (Statistical Analysis System).

Resultados y Discusión

Los análisis de varianza mostraron que los tratamientos de termoterapia y priming tuvieron efectos sobre la calidad fisiológica de la semilla de tomate de cáscara (Cuadro 1), al presentarse diferencias estadísticas en las variables porcentaje de germinación, plántulas anormales, semillas latentes y semillas muertas, así como en la variable peso seco por plántula. Los coeficientes de variación en todas las variables evaluadas fueron bajos ($< 15\%$), lo cual denota homogeneidad de datos y confiabilidad en los resultados.

Cuadro 1. Cuadrados medios de las variables evaluadas en las pruebas de calidad fisiológica en semilla de tomate de cáscara posterior a termoterapia y priming.

Fuentes de variación	G.L.	P.G.	P.A.	S.L.	S.M	P.S.
		1203.088 *				
Modelo	16		568.588*	18.794	2238.088*	3.8552*
Error Total	34	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	9.45
C.V.		1.89	2.493	14.946	1.326	4.843
Media		30.49	23.156	3.862	43.509	0.0006

(GL): Grados de libertad; (C.V.) Coeficiente de variación; (PG) Porcentaje de germinación; (P.A.) Porcentaje de plántulas anormales; (S.L.) Porcentaje de semillas latentes; (S.M.) Porcentaje de semillas muertas; (P.S.) Peso seco de plántulas.

*Significativo al 0.05 %

La calidad de la semilla comprende varios atributos deseables como su capacidad de establecerse en campo, su poder de germinación y vigor apropiado (Basra, 1995). Las semillas de tomate de cáscara

sometidas a calor (70°C) durante 45 minutos y priming con nitrato de potasio a -20 atm de presión osmótica durante 48 horas, presentaron el porcentaje de germinación más alto y libre del Alfalfa mosaic alfamovirus (virus mosaico de la alfalfa, AMV). Kmetz-Gonzalez y Struve (2000) mencionan que el acondicionamiento osmótico o priming de las semillas generalmente incrementa el porcentaje final de germinación, lo cual ocurrió en este trabajo de investigación, ya que la semilla así tratada supera estadísticamente al porcentaje de germinación del testigo absoluto, cuyo valor promedio fué del 27%, mientras que semillas sometidas a la temperatura y priming señalado anteriormente, alcanzaron el 63% de germinación.

Cuadro 2. Efecto promedio de los diferentes tratamientos relativos a la calidad fisiológica de la semilla de tomate de cáscara.

Tratamiento	Norm		Anorm	Laten	Muert	P. S.		CMV	AMV			
45' 70°C(KNO ₃)	63.67	a	14.33	h	2.33	d	20.33	m	0.000772	a	+	-
60' 50°C (Agua)	57.67	b	24.33	f	0.33	e	18.33	n	0.000779	a	+	+
45' 50°C(Agua)	55.67	c	10.33	i	2.33	d	32.33	i	0.000734	abc	-	+
60' 90°C(KNO ₃)	47.67	d	24.33	f	2.33	d	20.33	m	0.000530	fg	+	+
60' 70°C(Agua)	45.67	e	48.33	a	0.33	e	6.333	o	0.000666	bcd	+	+
45' 70°C(Agua)	41.67	f	28.33	d	2.33	d	28.33	j	0.000735	ab	+	-
60' 50°C(KNO ₃)	37.67	g	36.33	c	4.33	c	22.33	l	0.000649	cde	+	+
45' 50°C(KNO ₃)	35.67	h	18.33	g	6.33	b	40.33	h	0.000656	bcde	+	+
60' 70°C(KNO ₃)	27.67	i	44.33	b	4.33	c	24.33	k	0.000580	ef	+	+
Testigo	27.67	i	28.33	d	2.33	d	42.33	g	0.000609	def	+	+
60' 120°C(Agua)	25.67	j	26.33	e	2.33	d	46.33	f	0.000584	def	+	+
45' 90°C(Agua)	19.67	k	18.33	g	6.33	b	56.33	c	0.000493	g	+	-
45' 90°C(KNO ₃)	13.67	l	36.33	c	2.33	d	48.33	e	0.000709	abc	-	+
60' 90°C(Agua)	13.67	l	26.33	e	6.33	b	54.33	d	0.000383	h	+	+
45' 120°C(KNO ₃)	1.66	m	2.33	k	4.33	c	94.33	a	0.000001	i	+	+
45' 120°C (Agua)	1.66	m	0.33	l	8.33	a	92.33	b	0.000001	i	+	+
60' 120°C(KNO ₃)	1.667	m	6.333	j	8.33	a	92.33	b	0.000001	i	+	+
DMS	1.758		1.758		1.758		1.758		0.0001			

Medias con la misma letra en sentido vertical son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$); DMS = Diferencia mínima significativa. Ger: porcentaje de germinación; Anor: porcentaje de plántulas anormales; Laten: porcentaje de semillas latentes; Muer: porcentaje de semillas latentes; PS: Peso seco de plántulas; CMV: Cucumber mosaic cucumovirus (Virus mosaico del pepino, CMV); AMV: Alfalfa mosaic alfamovirus (Virus mosaico de la alfalfa, AMV).

En las semillas tratadas con termoterapia a 50 y 70 °C más priming con KNO_3 a -20 atm de presión osmótica durante 48 horas superaron estadísticamente al resto de los tratamientos aplicados, así como al testigo absoluto, al incrementar la calidad fisiológica, en porcentaje de germinación. Pill (1995) señala que al aplicar priming se logra un buen control sobre la hidratación de la semilla, alcanzándose la segunda fase de la imbibición, en la cual varios procesos metabólicos son activados, pero sin permitir la emergencia de la radícula, lográndose con esta técnica rapidez, sincronización e incremento en la germinación. De acuerdo con Szafirowska *et al.* (1981), uno de los efectos benéficos del priming sobre semillas deterioradas o envejecidas consiste en un decremento en la conductividad de lixiviados, indicativo de reparación y arreglo de la estructura en la membrana celular. Se ha sugerido además, que durante el secado de las semillas, las membranas celulares pierden su integridad, de tal manera, que cuando éstas son puestas a embeber, grandes cantidades de soluto salen de las células y se presenta mayor deterioro de las membranas cuanto más sean éstos. El mecanismo en el que se basa el priming para la reparación de las membranas, implica la absorción inicial de humedad por la semilla a una velocidad muy lenta, que permite a las membranas celulares volver a la condición normal de una manera ordenada, sin los daños consecuentes (Knypl y Khan, 1981).

El Testigo y el tratamiento 60' KNO_3 70°C fueron estadísticamente iguales con un 27.6667% y 27.6667% de germinación respectivamente. Asimismo, los tratamientos 45' KNO_3 120°C, 45' H_2O 120°C y 60' KNO_3 120°C fueron estadísticamente iguales, cuyas condiciones de estrés fueron las más extremas, sin embargo se esperaba que mediante el priming habría incremento en la calidad fisiológica, lo cual no ocurrió de manera satisfactoria, ya que de manera general se obtuvieron los porcentajes de germinación más bajos, con valores promedio inferiores al 2%. Por otra parte, el tratamiento 60' H_2O 70°C generó el mayor porcentaje de plántulas anormales, al superar estadísticamente al resto de los tratamientos, incluyendo al testigo absoluto.

El tratamiento 60' H_2O 70°C tiene el mayor porcentaje de plántulas anormales, tres de los 4 tratamientos que presentan mayor porcentaje de plántulas anormales estuvieron osmoacondicionadas con KNO_3 , lo que hace suponer que el daño en la semilla por efecto de las altas temperaturas y el máximo período de exposición (60 min) fue muy drástico, de tal manera que al aplicar priming con nitrato de potasio, los iones de este compuesto penetraron la semilla hasta llegar al embrión y dañarlo. Es evidente que los efectos benéficos del priming dependen del soluto, potencial osmótico, temperatura y duración del proceso (Bittencourt *et al.*, 2004), en el sentido de que al aumentar la duración del tratamiento se reduce el porcentaje de germinación (Haigh y Barlow, 1986). Los tratamientos con menor cantidad de plántulas anormales fueron 45' H_2O 120°C, 45' KNO_3 120°C y 60' KNO_3 120°C, esto debido a los bajos porcentajes de semillas que lograron emitir radícula. Los porcentajes más altos de semillas latentes se presentaron con los tratamientos 60' KNO_3 120°C y 45' H_2O 120°C, con un valor de 8.333% para ambos tratamientos.

Hubo cinco tratamientos estadísticamente iguales con el mayor peso seco, los cuales fueron 60' H_2O 50°C, 45' KNO_3 70°C, 45' H_2O 70°C, 45' H_2O 50°C y 45' KNO_3 90°C. Estos tratamientos supera-

ron estadísticamente al resto de los tratamientos aplicados (Cuadro 2). Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los obtenidos por Tetepa (1997), quien incrementó el peso seco de plántulas de tomate de cáscara después de acondicionar osmóticamente las semillas en una solución de PEG-200 a -5 atmósferas.

Pruebas de Calidad Sanitaria

La incidencia de semillas infectadas con virus es un factor importante para su dispersión de una región a otra (Johansen *et al.*, 1994), ya que pueden permanecer activos de uno a cinco años (Kado y Agrawal, 1972), lo que es una estrategia perfecta para perpetuarse, incluso provocar pérdida total en la producción de tomate de cáscara (De la Torre *et al.*, 2002). Sobre todo, al considerar que los sistemas de producción de semilla en esta especie se basan en eliminar de los lotes sólo aquellas plantas que muestran síntomas de virosis (Martínez *et al.*, 2004), sin tomar en cuenta la existencia de plantas asintomáticas en alto porcentaje; de ahí que no se garantiza su sanidad, por el contrario se sigue contribuyendo a la dispersión de los virus CMV y AMV en forma incontrolada ciclo tras ciclo en las regiones productoras.

El tratamiento 45' KNO₃ 70°C resultó con el mejor porcentaje de germinación superando al testigo, así mismo dio negativo a la infección por el virus del mosaico de la alfalfa. Por otro lado el tratamiento 45' H₂O 50°C registró valores negativos para CMV este tratamiento registro el tercer mejor porcentaje de germinación estadísticamente diferente a 45' KNO₃ 70° en germinación y superando al testigo. Se observa que no hay un tratamiento donde la temperatura haya desactivado tanto a AMV como a CMV (Cuadro 2). Varios tratamientos han sido evaluados para evitar la transmisión de virus; semillas de tomate fueron sometidas a tratamientos térmicos de 80°C durante 24 horas y 74°C durante 48 horas con el objetivo de inactivar el PepMV, sin embargo, estos tratamientos no erradican el virus en las semillas enteras (Córdoba *et al.*, 2007).

De acuerdo con Šutić *et al.* (1999), la infección por AMV retarda el crecimiento de las plantas, reduce la floración y amarre de frutos; lo cual coincide con los daños observados en las plantas de tomate de cáscara infectadas con virus durante el ciclo de producción de semilla desarrollado a campo abierto. En general, los virus hacen que disminuya la fotosíntesis de la planta al reducir el nivel de la clorofila por hoja, la eficacia que tiene esta molécula fotosintética y el área foliar por planta. Por lo común, los virus disminuyen la cantidad de sustancias reguladoras del crecimiento (hormonas) de la planta, al inducir un aumento en las sustancias inhibidoras del crecimiento. La disminución de nitrógeno soluble durante la rápida síntesis del virus es un fenómeno común en las enfermedades virales de las plantas, y en el caso de los mosaicos el nivel de los carbohidratos en los tejidos de la planta disminuye en forma drástica (Agrios, 2005).

Conclusiones

Aplicar termoterapia y priming incrementa la calidad fisiológica y sanitaria de la semilla de tomate de cáscara.

El mejor tratamiento para incrementar la calidad fisiológica y sanitaria de la semilla de tomate de cáscara consistió en someter a termoterapia a 70°C durante 45 minutos y posterior priming con KNO₃ a -20 atm de presión osmótica durante 48 horas, al obtener un 63.6 % de germinación e inactivar el virus Alfalfa mosaic alfamovirus (virus mosaico de la alfalfa, AMV), valor que supera estadísticamente al resto de los tratamientos y al testigo absoluto, cuyo porcentaje de germinación obtenido fue del 27.6 %.

Dos tratamientos de termoterapia lograron desactivar el virus de CMV; 90°C durante 45 minutos más priming con KNO₃ a -20 atm durante 48 horas; 50°C durante 45 minutos e hidroacondicionamiento con agua destilada.

Literatura Citada

Agrios, N.G. 2005. Fitopatología. Edit. Limusa, S.A. de C.V., Grupo Noriega Editores. México, D.F. 838 p.

Apodaca, M. A., M. A Barreras, E. Cortez y J. A. Quintero. 2008. Enfermedades del Tomate de Cáscara en Sinaloa. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle del Fuerte. Folleto Técnico No. 31. Los Mochis, Sinaloa, México. 33 p.

Basra A. S. 1995. Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications. Food Products Press. New York, United States of America. 389 p.

Bittencourt M. L. C., D. C. F. S. Díaz y E. F. Araujo. 2004. Effects of priming on asparagus seed germination and vigour under water and temperature stress. Seed Sci. and Tech. 32: 607-616.

Castillo, R., A. Gómez., F. Garcés. 2003. Multiplicación masiva de semilla sana en variedades de caña de azúcar mediante cultivo de tejidos vegetales. Publicación Técnica No 1. CINCAE. El Triunfo, Ecuador. 10 p.

Córdoba M. C. 2010. El virus del mosaico del pepino dulce (Pepino mosaic virus) afectando al cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*): Caracterización y Epidemiología. 216p.

Córdoba M. C., A. García, A. Alfaro, y C. Jordá. 2007. Seed transmission of pepino mosaic virus and efficacy of tomato seed disinfection treatments. Plant Disease. 91: 1280-1254.

De la Torre A. R. 1996. Caracterización Biológica y Molecular de un Complejo Viral en Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en los Valles Altos de México. Tesis de Doctor en Ciencias. Fitopatología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 93 p.

De La Torre A. R., R. Valverde., J. Méndez L., J. T. Ascencio y R. F. Rivera. 2002. Caracterización Preliminar de Geminivirus en Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* B.) en la Región Centro de México. *Agroc.* 36(4): 471-481.

Fauquet, C. M, M. A. Mayo, J Maniloff, U. Desselberger y L. A. Ball. 2005. Virus Taxonomy. Eight Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. Virology Division International Union of Microbiological Societies. Elsevier Academic Press, San Diego California, United States of America. 1162 p.

Flores, H. A. 2004. Introducción a la tecnología de las Semillas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. De México. 160 p.

Gillaspie, A. G., M. R. Hajimorad. y S. A. Ghabrial. 1998. Characterization of a Severe Strain of Cucumber mosaic cucumovirus Seedborne in Cowpea. *Plant Dis.* 82: 419-422.

Gozzo, F. 2004. Systemic Acquired Resistance in Crop Protection (en línea). *Outlooks on Pest Management* 10.1564 Consultado 2 jun. 2005.

[Disponible en www.researchinformation.co.uk/pest/sample/15-1/11-Gozzo.pdf](http://www.researchinformation.co.uk/pest/sample/15-1/11-Gozzo.pdf)

Haigh M., A. y W R. Barlow. 1986. Field emergence of tomato, carrot and onion seeds primed in an aerated salt solution. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:660-665.

Hull, R. 2002. *Matthew's Plant Virology*. Academic Press Inc, London UK. 1001 p.

INIFAP. 2004. El Amarillamiento en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y Medidas Para su Manejo. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Zacatepec, Morelos. 23 p.

ISTA. 2004. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association. Bassersdorf, CH-Switzerland. 700 p.

Johansen, E., M. C. Edwards y R. O. Hampton. 1994. Seed Transmission of Viruses: Current Perspectives. *Ann. Rev. Phytopathol.* 32: 363-386.

Kado, C. I. y H. O. Agrawal. 1972. Principles and Techniques in Plant Virology. Litton Educational Publishing, Inc. United States of America. 688 p.

Kmetz, G. M., y D. Struve. 2000. Blackgum seed conditioning increases germination: rate, seedling emergence and quality. *Seed Science and Technology.* 28(1): 49-57.

Knypl, J. S. and A. A. Khan. 1981. Osmoconditioning of soybean seed to improve performance at suboptimal temperatures. *Agron. J.* 73(1): 112-116.

Marín J., J. A. Mejía, A. Hernández, A. Peña y A. Carballo. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. *Agricultura Técnica en México.* 33: 115-123.

Martínez, S. J.; A. Peña L. y D. Montalvo H. 2004. Producción y Tecnología de Semilla de Tomate de Cáscara. Universidad Autónoma Chapingo, México. 36 p.

Momol, M. S. Olson, J. Funderburk y J. Stavisky. 2004. Integrated Management of Tomato Spotted Wilt on Field-Grown Tomatoes (en línea). *Plant Diseases* 88:882-890. Consultado el 06 jul. 2005.
Disponible en 199.86.26.56/pd/pdfs/2004/0608-01R.pdf.

Parera, A. C. y D. J. Cantliffe. 1994. Presowing seed priming. *Horticultural Review* 16: 109-141.

Parmessur, Y. y A. Saumtally. 2001. Elimination of Sugarcane Yellow Leaf Virus and Sugarcane Baciliform Virus by tissue culture (en línea). Consultado el 15 sep 2005.
Disponible en <http://ncb.intnet.mu/moa/farc/amas2001/pdf/s42.pdf#search=scbv%20saumtally>.

Parmessur, Y., S. Aljanabi, S. Saumtally y Dookun-Saumtally. 2002. Sugarcane Yellow Leaf Virus and Sugarcane yellows Phytoplasma: Elimination by Tissue Culture (en línea).

Pérez, M.L.; E. J. Rico.; J.R. P. Sánchez.; J.T. I. Ascencio.; R. P. Díaz y R.F. B. Rivera. 2004. Identificación de virus fitopatógenos en cultivos hortícolas de importancia económica en el Estado de Guanajuato, México. *Rev. Mex. de Fitopatol.* 22 (2): 187-197.

Pill, W.G. 1995. Low water potential and presowing germination treatments to improve seed quality. P 319-359. In: A.S. Basra (ed.). *Seed quality-Food Products Press*, New York.

Pradhanang, P., P. Momol y S. Olson. 2005. Application of Acibenzolar-S-Methyl Enhances Host Resistance in Tomato Against *Ralstonia solanacearum* (en línea). *Plant Disease* DOI:10.1094/PD-89-0989. Consultado 07 oct 2005. Disponible en www.apsnet.org/pd/+toc/2005/dse05tc.htm.

PRODUCE. 2005. Memoria: Jornada de Tecnología de Producción de Tomatillo. Fundación PRODUCE, Sinaloa A. C. Culiacán, Sinaloa, México. 72 p.

Romero, M. C. Kousik y D. Ritchie. 2001. Resistance to bacterial Spot in Bell Pepper Induced by Acibenzolar-S-Methyl. *The American Phitopatological Society*.

Sepúlveda G. 2011. Aspectos generales de los virus de las plantas. Sepúlveda P. Virus transmitidos por insectos vectores en tomate en la región de Arica y Paracota: situación actual de manejo. Ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Desierto y Altiplano. pp: 13-19

SIAP, (2012). Tomate verde. [Base de datos en línea]. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=265&Itemid=101. SIAP. [17 abr 12].

Šutić, D.D.; R.E. Ford and M.T. Tošić. 1999. *Handbook of Plant Viruses Diseases*. Edit. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, United States of America. 553 p.

Sutula, C. L.; J. M. Gillett.; S. M. Morrissey, and D. C. Ramsdell. (1986). Interpreting ELISA Data and Establishing the Positive-Negative Threshold. *The Amer. Phytopathol. Soc.* 70(8): 722-726.

Szafirowska A.; A.A. Khan y N. H. Peck. 1981. Osmoconditioning of carrot seed to improve seedling establishment and yield in cold soil. *Agron. J.* 73: 845-848.

Tetepa. C. 1997. Acondicionamiento osmótico de semilla de tres especies hortícolas solanáceas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 76 p. 4

Tun, S. J. M. 2006. Transmisión por Semilla y Respuesta del Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) al Alfalfa mosaic virus (AMV). Tesis de Doctor en Ciencias. Fitopatología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 62 p.

Vidales, F. J. A. y R. J. J. Alcantar. 1989. Ataque de la virosis durante la floración y su efecto sobre la producción de melón (*Cucumis melo* L.) Memorias del XVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Xalapa, Veracruz.

Welbaum, G. E., S. Zhengxing, O. M. Oluoch, L.W. Jett. 1998. The evolution and effects of priming vegetables seeds. *Seed Technology* 20(2): 209-235.

Wiggans S., C. y Gardner P., F. 1959. Effectiveness of various solutions for simulating drought conditions as measured by germination and seedling growth. *Agron. J.* 51:315-318.

Zadjali, A. D.; A. R. Matrooshi, y S. M. Moghal. 2002. Occurrence, Distribution and Properties of Alfalfa mosaic virus. *Agric. Sci.* 71: 47-51.

Mauro Sierra Macías^{1}, Flavio Rodríguez Montalvo¹,
Artemio Palafox Caballero¹, Noel Gómez Montiel²
y Alejandro Espinosa Calderón³*

SÍNTESIS HISTÓRICA DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE MAÍZ PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

Resumen

Durante más de cinco décadas de investigación continua se han liberado 16 híbridos, 6 variedades de polinización libre y 5 sintéticos de la serie 500, los cuales han sido comercializados con muy buena aceptación entre los productores. Los parámetros de comparación de respuesta fueron: rendimiento de grano, altura de planta, altura de mazorca, aspecto y sanidad de la planta, aspecto y sanidad de la mazorca. Se hizo una evaluación de progreso del mejoramiento genético. Los genotipos de reciente liberación registraron mayor rendimiento, menor altura de planta y de mazorca, posición de mazorca relativamente más baja y mejores calificaciones de aspecto y sanidad de planta y de mazorca que los genotipos más antiguos. Así mismo, las variedades de más reciente liberación (VS-536 y V-530), registraron 26.32% más rendimiento, 13 y 21.9% menos altura de planta y mazorca respectivamente, que las variedades más antiguas (V-520C y V-522); particularmente, VS-536 que es la variedad de mayor uso comercial en el sureste mexicano, tuvo un rendimiento de 6.9 t ha⁻¹. El H-520, híbrido de más reciente liberación, rindió 8.89 t ha⁻¹, es decir, 15.45% más que H-507, híbrido antiguo de mayor uso comercial. Las líneas progenitoras de los híbridos H-520 y H-518, rindieron 12.34% más que las líneas básicas que forman los híbridos H-503 y H-507 y presentaron mejor aspecto y sanidad de planta y de mazorca. Durante los últimos 10 años se obtuvieron H-519C H-553C, H-564C y V-537C de grano blanco y V-556AC de grano amarillo, con alta calidad de proteína.

Palabras clave: *Híbridos, variedades de polinización libre, sintéticos, líneas progenitoras, rendimiento*

¹Investigador de la Red de maíz Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP, Km 34 Carr. Veracruz Córdoba, Mpio. de Medellín, Ver., ²Campo Experimental Iguala, INIFAP. ³Campo Experimental Valle de México, INIFAP. sierra.mauro@inifap.gob.mx, mauro_s55@hotmail.com

Introducción

En México el cultivo de maíz es el más importante por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada valor de la producción y por ocupar el 20% de la población económicamente activa. El uso principal es como consumo directo en sus diferentes formas en la alimentación humana. Se reporta un consumo *per cápita* aparente de 209.8 kg. (Morris y López, 2000). La superficie nacional en los últimos años es de alrededor de 8.2 millones de hectáreas, con una producción de 18 millones de toneladas de grano, de las cuales se utilizan para el consumo directo humano 12.3 millones de toneladas; de estas, el 36% es a través de la industria harinera y 64% a través de la industria de la masa y la tortilla en el proceso de nixtamalización; (SAGARPA, 2008). Se importan alrededor de 5 millones de toneladas de grano amarillo para la industria de alimentos balanceados. En la región tropical 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 (Sierra *et al.*, 2001).

En México existen 31 millones de personas con desnutrición, de los cuales 18 millones padecen desnutrición severa (Espinosa *et al.*, 2006), se trata de diez millones de indígenas y el resto es población urbana de bajos ingresos. De estos, el 50% corresponden a niños menores de 5 años de las áreas rurales y el 30 % de los de las urbanas (Espinosa *et al.*, 2006; Chávez y Chávez, 2004). En este marco, el consumo generalizado de los maíces de alta calidad de proteína puede mejorar el nivel nutricional en México, de manera especial en niños, mujeres lactantes y ancianos (Espinosa *et al.*, 2005).

El maíz con alta calidad de proteína se deriva del aprovechamiento del gene mutante opaco o2o2, expresado en su versión homocigótica recesiva con mayor contenidos de Lisina y Triptofano, aminoácidos esenciales en la alimentación (Mertz *et al.*, 1994). Por su parte, Vasal y Villegas (2001), mediante técnicas de mejoramiento tradicionales incorporaron genes especiales al maíz opaco o2o2 llamados genes modificadores de la textura del endospermo. Estos genes modificadores confieren al endospermo una textura de grano más dura que el maíz opaco, dando la apariencia del maíz normal (Vasal, 1994). Larkins *et al.*, (1994) indicaron que, los maíces con el gene o2o2 contienen de 40 a 50% más Lisina y de 35 a 40% más Triptofano.

El mejoramiento genético de maíz en el trópico húmedo de México, se inició en 1943 por los organismos antecesores del actual INIFAP como el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), formado a su vez por la fusión del Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA) y la Oficina de Estudios Especiales (OEE) (Reyes, 1971 y Sierra *et al.*, 1996). Desde sus inicios, el programa de maíz para el Trópico, ha tenido como objetivos, formar variedades, híbridos y sintéticos de elevado potencial de rendimiento y amplia adaptación, que minimicen los riesgos de producción. Durante más de cinco décadas de investigación continua se han liberado 16 híbridos, 6 variedades de polinización libre y 5 sintéticos de la serie 500, los cuales han sido comercializados con muy buena aceptación por los productores. El Campo Experimental Cotaxtla, a partir de su creación en 1954 ha realizado investigaciones en el cultivo de maíz, con el fin de aportar a los productores, la tecnología

que permita incrementar el rendimiento, mejorar el beneficio económico y el abasto de este grano básico. Durante los últimos años se generaron híbridos y variedades con gran potencial de rendimiento, adaptados a las condiciones tropicales húmedas del estado de Veracruz y Sureste de México, entre los que destacan por su uso actual H-520, VS-536, H-519C, V-537C, V-556AC y de reciente liberación, el híbrido H-564C de alto rendimiento y alta calidad proteínica (Sierra *et al.*, 1992; Sierra *et al.*, 2002; Sierra *et al.*, 2004a; Sierra *et al.*, 2011) con los siguientes objetivos; desarrollar variedades, híbridos y sintéticos de elevado potencial de rendimiento y amplia adaptación al trópico, que minimicen riesgos en la producción con buena cobertura de mazorca, arquetipo eficiente, tolerantes al acame y a enfermedades, b) Mejorar la calidad nutritiva e industrial; c) Desarrollar la tecnología de producción para granos y semillas y d) Apoyo la transferencia de tecnología.

Materiales y Métodos

El área tropical húmeda y subhúmeda de México engloba de acuerdo con García (1981) al grupo climático A (Aw0, Aw1, Aw2, Am y Af). En cuanto a los recursos genéticos que han servido de base en el mejoramiento genético han sido colectas de maíz criollo, integración de compuestos germoplásmicos de maíz con amplia base genética y poblaciones avanzadas provenientes de la raza Tuxpeño, raza de mayor distribución en el sureste mexicano, de las cuales se han derivado líneas con buen comportamiento per se y buena aptitud combinatoria general y específica, con las cuales se han formado híbridos y variedades sintéticas.

Los enfoques y metodologías de investigación utilizados por el programa han variado a través del tiempo y ha permitido obtener ganancias en rendimiento e incorporar características agronómicas y arquetípicas en híbridos, variedades, sintéticos y líneas progenitoras. En un principio se utilizaron colectas regionales que resultaron sobresalientes como la fueron Papaloapan 1 y V-520C, y posteriormente se derivaron líneas que dieron origen a los primeros híbridos, entre ellos, el H-503 y H-507 (Reyes *et al.*, 1959; Reyes 1971), éste último, ampliamente adoptado entre los productores del sureste mexicano.

La selección recurrente en poblaciones y la recombinación de líneas endogámicas de alta aptitud combinatoria general, ha sido un enfoque metodológico que permitió la formación y liberación de las variedades sintéticas y de polinización libre VS-521, V-522, VS-523 A, V-524 y VS-525. Debido a su constitución genética, dichos genotipos ofrecen la ventaja de poder ser utilizados por varios ciclos de siembra sin que decaiga el rendimiento, además, es más fácil la producción de su semilla. Así también, para reducir los riesgos por acame, a través del método de retrocruzas, se introdujo el carácter braquítico que permitió reducir la altura de planta y de mazorca en las líneas endogámicas progenitoras del H-503 y H-507, cuyos resultados dieron origen a los híbridos de planta baja H-508 y H-509 (Sierra *et al.*, 1996).

En la década de los ochentas se dio énfasis a la derivación de líneas de poblaciones exóticas y al

mejoramiento poblacional que aprovecha la porción aditiva de la varianza genética presente en las poblaciones de maíz. Se utilizó la selección recurrente mediante progenies de hermanos completos en las poblaciones de maíz Sintético Tropical Dentado (STD) y Tuxpeño Tropical Cristalino (TTC) de las que se obtuvieron las variedades de polinización libre V-530 que se sembró comercialmente en el estado de Veracruz, V-531 para la región costera del Pacífico, V-532 en la península de Yucatán y V-534 en la región central de Chiapas, las cuales han sido sembradas comercialmente en la región tropical del Sureste de México (Sierra *et al.*, 1986; Sierra *et al.*, 1991; Ramírez *et al.*, 1990).

Con el fin de aprovechar el germoplasma élite de los diferentes programas de mejoramiento de maíz en el trópico, así como la divergencia genética inferida por la diferencia ecológica, de acuerdo con Reyes (1985), se formó un dialelo con líneas provenientes de los programas de maíz de Cotaxtla, Ver., Iguala, Gro. y Río Bravo, Tamps. Con líneas de buena aptitud combinatoria general se formaron las variedades sintéticas VS-535, VS-536, y el híbrido de cruza doble H-512, (Sierra *et al.*, 1992b; Sierra *et al.*, 1993); VS-536 es la variedad de mayor uso en el sureste mexicano.

En relación con la integración y uso de poblaciones de amplia base genética que funcionan como almacenes genéticos para la derivación de líneas o bien para ser practicada alguna variante de la selección recurrente, se tiene la población de maíz de amplia base genética de ciclo intermedio y grano blanco, de la cual han sido derivadas líneas endogámicas con cinco niveles de autofecundación, entre ellas LT156, progenitor macho del H-520.

Derivado del aprovechamiento de líneas pertenecientes a diferente grupo heterótico y con alta aptitud combinatoria general y específica fueron definidos como sobresalientes el híbrido de cruza simple H-513 y los híbridos trilineales H-520 y H-518. Estos últimos con ventajas importantes en la producción de semillas en virtud de que usan como progenitor hembra una cruza simple de alto rendimiento (Sierra *et al.*, 2005; Sierra *et al.*, 1994; Espinosa, 1997; Sierra, 2002). En relación con los maíces con alta calidad de proteína, fueron liberados y promovidos los genotipos con alta calidad de proteína de grano blanco H-519C H-553C, H-564C y V-537C y la variedad V-556AC de grano amarillo (Sierra *et al.*, 2001; Sierra *et al.*, 2011).

Resultados

Híbridos y variedades de maíz. Durante más de cinco décadas de investigación continua en el programa de maíz para el trópico húmedo, se han liberado 16 híbridos, 6 variedades de polinización libre y 5 sintéticos de la serie 500, los cuales han sido comercializados con muy buena aceptación entre los productores, de los cuales se encuentran en uso actual los híbridos H-520, H-564C, H-519C y las variedades VS-536, V-537C y V-556AC con adaptación a la región tropical húmeda en altitudes de 0 a 1200 msnm. (Cuadro 1). La Figura 1 muestra el progreso del mejoramiento para rendimiento de grano en variedades de maíz de 1952 a 1991, en la que se observa un avance importante de 1952 a 1975 y 1981 con las variedades V-524 y VS-525, para 1989 hay una aparente disminución en el

rendimiento, sin embargo, la variedad V-530 liberada en ese año fue caracterizada como tolerante a sequía y recomendada para las áreas con clima Aw0 de la región central del estado de Veracruz principalmente, atributo que no se expresa en esta evaluación. En 1991 fue liberada la variedad sintética VS-536, que registró un incremento en rendimiento y fue adoptada por los agricultores en el sureste mexicano y por las empresas semilleros para su producción y distribución masiva.

Cuadro 1. Híbridos y variedades de maíz liberados para el trópico húmedo de México 1952 a 2009

GENOTIPO	DESCRIPCIÓN	REGISTRO	AÑO
V-520C	VAR. DE POLINIZACIÓN LIBRE		1952
H-503	HÍBRIDO DE CRUZA DOBLE		1955
H-507	HÍBRIDO DE CRUZA DOBLE		1961
V-522	VAR. DE POLINIZACIÓN LIBRE		1975
VS-523A	VARIEDAD SINTÉTICA		1975
V-524	VAR. DE POLINIZACIÓN LIBRE		1975
H-510	HÍBRIDO DE CRUZA DOBLE		1975
VS-525	VARIEDAD SINTÉTICA		1981
H-511	HÍBRIDO SIMPLE		1981
V-530	VAR. POLINIZACIÓN LIBRE	MAZ-501-251104	1989
V-531	VAR. POLINIZACIÓN LIBRE		1990
V-532	VAR. POLINIZACIÓN LIBRE		1990
V-534	VAR. POLINIZACIÓN LIBRE	MAZ-502-251104	1990
VS-536*	VARIEDAD SINTÉTICA	MAZ-200292-170	1991
H-512	HÍBRIDO DE CRUZA DOBLE	MAZ-181292-172	1992
H-513	HÍBRIDO DE CRUZA SIMPLE	MAZ- 080394-183	1994
H-519C*	HÍB. CON ALTA CALIDAD DE PROTEÍNA	1308-MAZ-551-150800/C	2000
V-537C*	VAR CON ALTA CALIDAD DE PROTEÍNA VAR. CON ALTA CALIDAD DE PROTEINA	1322-MAZ-565-200900/C	2000
V-556AC*		1587-MAZ-759-230703/C	2003
	DE GRANO AMARILLO		
H-520*	HÍBRIDO TRILINEAL	1648-MAZ-807-140404/C	2004
	HÍB. TRILINEAL CON ALTA CALIDAD DE		
H-564C*		2257-MAZ-1133-300609/C	2009
	PROTEÍNA		
H-518	HÍBRIDO TRILINEAL	EN TRAMITE	2011

* *En uso actual*

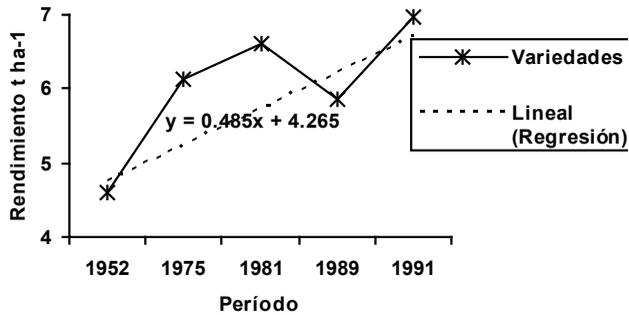


Figura 1. Progreso del mejoramiento de variedades de maíz para el trópico mexicano

La Figura 2 muestra el progreso del mejoramiento en híbridos en el trópico mexicano para rendimiento de grano de 1955 al 2004. Se observa que los primeros híbridos liberados en 1955 y 1961, H-503 y H-507 respectivamente, registraron buen potencial de rendimiento, mismos que fueron adoptados por los agricultores, particularmente, el H-507 se distribuyó comercialmente por más de 30 años. El H-510 liberado en 1975 no tuvo mayores ventajas en el rendimiento y su uso fue limitado. En 1981 fue liberado el H-511 y aunque hay un avance significativo en el rendimiento del híbrido, este no se distribuyó comercialmente, debido entre otras razones a que se trata de un híbrido de cruce simple cuyos progenitores mostraban limitaciones en su mantenimiento y en la producción comercial. El avance mayor se tiene con el híbrido trilineal H-520 de más reciente liberación el cual registra el mayor rendimiento y en la producción comercial usa como progenitor hembra una cruce simple de alto rendimiento.

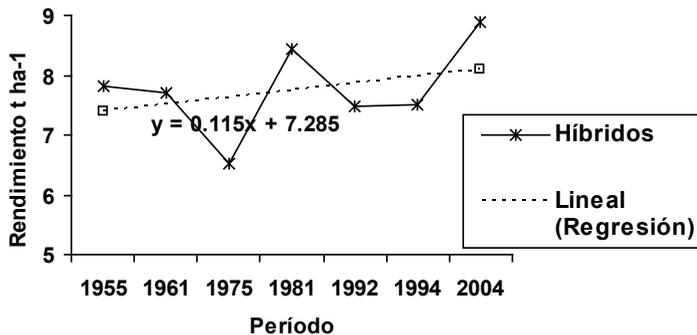


Figura 2. Progreso del mejoramiento de híbridos de maíz para el trópico mexicano

VS-536. La variedad sintética VS-536, presenta buen rendimiento y adaptación en el sureste mexicano, con un potencial de rendimiento de 6.0 t/ha. presenta un ciclo vegetativo intermedio con 52-55 días a la floración, 90 días a madurez fisiológica y 120 días a cosecha, altura de planta y mazorca intermedia lo que le permite adaptación a los diferentes sistemas de producción y tolerancia al acame, presenta buena cobertura de mazorca y es tolerante a las principales enfermedades de planta y de mazorca, es de grano blanco, textura semidentada, buena calidad nixtamalera y harinera.

H-520. El híbrido H-520 es de altura de planta y mazorca intermedia con 228 y 139 cm para cada variable respectivamente, en el ciclo primavera – verano bajo condiciones de temporal con 54 días a la floración masculina y 53 a la floración femenina, alcanza su madurez fisiológica entre 90 y 100 días y la cosecha puede efectuarse a los 110 a 120 días. Es tolerante al acame, con buen aspecto y sanidad de planta y mazorca, excelente cobertura de mazorca, con 14 hileras y grano blanco semidentado (Figura 4). H-520 registró los porcentajes más bajos de plantas con síntomas, la menor severidad y los porcentajes más bajos de mazorcas con daño de “achaparramiento”. (Sierra *et al.*, 2004a).

Figuras 3 y 4. VS-536 y H-520, variedad e híbrido de mayor uso en el sureste mexicano.



H-519C. Es un híbrido trilineal con alta calidad de proteína adaptado a la región tropical, es de ciclo intermedio con 55 a 56 días a la floración masculina y femenina, 90 a 100 días a madurez fisiológica y 120 días a cosecha. Registra una altura de planta intermedia con una relación altura de mazorca / planta de 0.53, lo cual favorece su tolerancia al acame. Presenta buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca. La mazorca es cilíndrica con 14 a 16 hileras y tiene excelente cobertura de la mazorca, el grano es de color blanco y de textura cristalina, (Sierra *et al.*, 2001).

V-537C. Es una variedad de maíz de polinización libre, de planta y mazorca baja y una relación altura de mazorca/altura de planta de 0.47 que le confiere tolerancia al acame. La mazorca es cilíndrica con 14 hileras, el grano es de color blanco y textura semidentada, Sierra *et al.* (2001).

V-556AC. Ofrece una posibilidad en la industria forrajera y en alimentos balanceados, contiene más Lisina y Triptofano que el maíz normal. Los climas tropicales más favorables para su desarrollo son

Aw0 y Aw1. Se adapta a la región tropical del sureste de México, en altitudes de 0 a 1000 msnm con rendimiento de hasta 6.0 t ha^{-1} de grano y 60 t ha^{-1} de forraje. Es de altura de planta y mazorca intermedia, con una relación altura de mazorca/altura de planta de 0.51 y es tolerante al acame. Su grano es de color amarillo y de textura semicristalina con buena cobertura de mazorca.

H-564C. El híbrido trilineal de maíz H-564C con alta calidad de proteína, se adapta a la región tropical en el sureste mexicano, representa una alternativa para incrementar los rendimientos de maíz y mejorar la nutrición de los consumidores. Este híbrido registra buen rendimiento, características agronómicas favorables: buena cobertura de mazorca, buen aspecto y sanidad de planta y mazorca y tolerancia al achaparramiento”; La mazorca es de grano blanco semicristalino de forma cilíndrica con 12 a 14 hileras regulares y su apariencia es prácticamente similar a la del maíz normal (Figura 5)

Figura 5. H-564C con alta calidad de proteína, es de grano blanco semicristalino



Uso de semilla mejorada

El INIFAP produce semilla de alto registro de genotipos sobresalientes, adaptados a la región tropical en el sureste de México. Durante 2007 al 2010, se distribuyó semilla básica y registrada de los genotipos de maíz normal VS-536, H-520 y con alta calidad de proteína V-537C, H-519C y H-564C, de grano blanco y V-556AC de grano amarillo, a Organizaciones de productores y empresas semilleras nacionales para la producción de semilla certificada, la cual permitió impactar en una superficie total en los últimos cuatro años, de 346,753.75 hectáreas de siembra comercial con estos genotipos en el sureste mexicano, según se desglosa a continuación en el Cuadro 2. Lo anterior sugiere que los genotipos han sido adoptados por los productores y que es factible y rentable la producción de su semilla.

Cuadro 2. Superficie (Hectáreas) sembrada con semilla de maíz producida por el INIFAP

Campo Experimental Cotaxtla para el Sureste Mexicano. 2007-2010.

Genotipo	2007	2008	2009	2010	Total
VS-536	57625	21800	40138	82563	202,126
H-520	6150	9546	3631	51274	70,601
V-537C	25250	9300	-----	15,800	50,350
H-519C	-----	4603	-----	4500	9,103
H-564C	-----	-----	----	4650	4,650
V-556AC	125	5400	3200	1200	9,925
Total	89,150	50,649	46,969	159,987	346,755

Conclusiones

El programa de maíz para el trópico ha generado híbridos y variedades de maíz con ventajas agronómicas y arquetípicas y con ventajas en la producción comercial de semilla.

Existe germoplasma sobresaliente de maíz que ha sido adoptado por empresas y grupos productores de semilla y por agricultores en el sureste de México.

Referencias Bibliograficas

Chávez A, M de Chávez. 2004. La tortilla de Alto Valor Nutritivo. Mc Graw Hill. México, D.F. 110 p.

Espinosa C., A.; Gómez M., N.; Sierra M., M.; Betanzos M., E.; y Caballero H., F. 2006. Variedades e híbridos de calidad proteínica. Revista Ciencia. Academia Mexicana de las ciencias. Vol. 57 (2): 1-10.

Espinosa C., A.; N., Gómez M.; M., Sierra M.; F., Caballero H.; B., Coutiño E.; A., Palafox C.; et al. 2005. Los maíces de calidad proteínica y la producción de semillas en México. Ciencia y Desarrollo. p. 1-10

Espinosa C., A., 1997. Comportamiento per se y ACG de caracteres relacionados con la producción de semillas en líneas de maíz (*Zea mays* L) y sus cruza. Tesis de Doctor en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. de México. 121 p.

García E., 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen. UNAM. 3ª ed. 252 p.

Larkins, B., A.; Dannehofer, D.,F.; Bostwick, E.,O.; Moro G.,A.; and M.A. Lopez. 1994. Opaque 2 modifiers, what they are and how they work, In: Quality protein maize. 1964-1994. Proc. of the international symposium on quality protein maize. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG Brasil. December 1-3 1994, p. 133-148.

Mertz, E., T. 1994. Thirty years of opaque 2 maize. In: Quality Protein Maize. 1964-1994. Proc. of Symp. of Quality Protein Maize. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas M. G. Brasil. p 1-10.

Morris M.L.; y López P., M.A. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. México D.F. CIMMYT 45 p.

Ramírez F., A.; Coutiño E., B.; Gómez M., N.; Sierra M., M. 1990. V-534, Nueva variedad de maíz de polinización libre para la región central de Chiapas. Folleto Técnico Núm. 3. CECECH, CIFAP Chiapas. INIFAP. SARH. 14 p.

Reyes C., P; Molina G., J; y Rodríguez V., A. 1959. Maíz Cotaxtla contribuye al mejoramiento de maíz tropical. In: Campo Cotaxtla, 4 años de labores. Oficina de Estudios Especiales (OEE). Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) p. 13-23.

Reyes C., P. 1971. Genotecnia del maíz para tierra caliente. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. División de ciencias agropecuarias y marítimas. Departamento de agronomía. Monterrey, N.L. 138 p.

Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor, México. 460 p.

SAGARPA. 2008. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola de los estados unidos Mexicanos. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (11 de septiembre 2008). s/p.

Sierra M., M; Palafox c., A.; Rodríguez M., F.; Espinosa C., A.; Vásquez C., G.; Gómez M., N.; Barrón F., S. 2011. H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas Vol 2(1): 71-84.

Sierra M., M; Márquez S., F.; Valdivia B., R.; Córdova O., H.; Lezama G., R.; Pescador R., A. 2004a. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L). Agric. Téc. Méx. Vol 30 (2): 169-181

Sierra, M., M., Palafox, C., A., Rodríguez, M., F. A., Espinosa, C., A., Gómez, M. N., Caballero, H., F., Barrón, F. S. y Zambada, M. A. 2004b. H-518 y H-520, híbridos trilineales de maíz para el trópico húmedo de México. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm. 38. Veracruz, México. 17 p.

Sierra M., M; Preciado O., R.E; Alcázar A., J. y Rodríguez M., F. 1986. Selección familiar de progenies de hermanos completos en poblaciones de maíz para el trópico mexicano. Revista Turrialba. Vol. 41(2) 202-210.

Sierra M., M; Preciado O., R.E; Martínez C., J. J; Gómez M., N; Valdivia B., R; Caballero H., F; Alcázar A., J; Rodríguez M., F. y Arroyo L., C. 1991. V-530 nueva variedad de maíz para las áreas tropicales de México. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 13 (2): 204.

Sierra M., M., Rodríguez M., F.A; Castillo G.R; Márquez S., F. 1992a. La aplicación de los parámetros de estabilidad en el mejoramiento de maíz en la región sur de México. In: Memorias del Simposio de interacción genotipo ambiente en genotecnia vegetal. Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). Guadalajara, Jal. p 239-260.

Sierra M., M; Rodríguez M., F; Castillo G., R; Preciado O., R.E. y Márquez S., F. 1992b. VS-536 variedad sintética de maíz para el trópico de Veracruz y regiones similares. Folleto Técnico Núm. 2 Campo Cotaxtla. SARH. INIFAP. CIRGOC. 11 p.

Sierra M., M; Rodríguez M., F; Preciado O., R.E; Castillo G., R; Ortiz C., J; Márquez S., F; Tosquy V., H. 1993. H-512 híbrido de maíz de cruza doble para el trópico húmedo de México. Folleto Técnico Núm. 3 Campo Cotaxtla. SARH. INIFAP. CIRGOC. 13 p.

Sierra M., M; Rodríguez M., F; Castillo G., R; Ortiz C., J; Barrón F., S; Tosquy V., H; Romero M., J; Tinoco A., C; Sandoval R., A. 1994. H-513 híbrido de maíz de cruza simple para el trópico mexicano. Folleto Técnico Núm. 9. Campo Cotaxtla. SARH. INIFAP. CIRGOC. 18p.

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.

Vasal S., K. and Villegas E. 2001. The quality protein maize revolution. Improved nutrition and livelihoods for the poor. CIMMYT, El Batán Texcoco, Mex. 7p.

Vasal, S. K., Vergara, A. N. y Mc Lean, S. 1994. Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. *Agronomía Mesoamericana* Vol. 5: 184-189.

Mauro Sierra Macías¹, Pablo Andrés Meza^{1}, Artemio Palafox Caballero¹, Isaac Meneses Márquez¹, Néstor Francisco Nicolás¹, Andrés Zambada Martínez¹, Flavio Rodríguez Montalvo¹, Alejandro Espinosa Calderón² y Margarita Tadeo Robledo²*

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE MAÍCES NATIVOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

Resumen

El coleccionar y conservar los recursos genéticos en maíz (*Zea mays* L.), permitirá usar esta variabilidad en los programas de mejoramiento actual y futuro. Así, con los objetivos de: 1) conocer la diversidad actual de maíces nativos en el estado de Veracruz y 2) caracterizar e identificar a nivel de raza los maíces nativos recolectados. Durante mayo del 2009 hasta junio del 2010 se coleccionaron maíces criollos, en las regiones norte, sur y región intermedia del estado de Veracruz. Los criterios para coleccionar fueron la importancia del cultivo y la siembra de maíz criollo. Se coleccionaron un total de 657 muestras de maíz nativo. Para la región tropical en altitudes de 0-1300 msnm, se encontraron principalmente: 164 muestras de la raza Tuxpeño, 75 Olotillo, 28 Coscomatepec, 21 Ratón, 12 Tepecintle, 11 Arrocillo, 7 Elotes Cónicos, 4 Cónico, 4 Celaya, 3 Vandeño, 2 Chalqueño, 1 Onaveño, 1 Pepitilla, 1 Bolita, 1 Nal-Tel de Altura, 1 Cacahuacintle, 1 Mushito y 320 mezclas entre razas. En la identificación de razas en altitudes de 0-1300 m, predominaron las razas Tuxpeño y Olotillo y mezclas entre razas con la presencia principalmente de Tuxpeño y Olotillo. En la región intermedia (1801-2000m) las razas más frecuentes fueron: Coscomatepec y Celaya. En altitudes mayores a los 2000 msnm las razas más importantes fueron: Cónico, Elotes cónicos, Chalqueño, Arrocillo amarillo y Cacahuacintle. De las colectas realizadas se encontró una mayor frecuencia de maíces criollos con grano de color blanco y crema y en menor proporción amarillo, negro pinto y rojo. Existe diversidad genética en maíz que debe conservarse y aprovecharse en los programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: Maíz nativo, trópico húmedo, descripción morfológica, diversidad genética.

¹Investigadores del Programa de Maíz. Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC-INIFAP. ²Investigadores del Programa de Maíz. Campo Experimental Valle de México-INIFAP. *Autor para correspondencia: andres.pablo@colpos.mx

Introducción

Evidencia genética, bioquímica y morfológica indican que el maíz (*Zea mays* L.) fue domesticado hace aproximadamente 10,000 años de un teocintle silvestre (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) en América Central (Doebley *et al.*, 2006). Posteriormente, con base en patrones de distribución muy particulares, estos maíces migraron a lo largo de rutas diferentes y definidas conforme se incrementó su cultivo en su lugar de origen y domesticación. De esta forma hubo regiones en que convergieron las rutas de migración cuya hibridación y selección posterior dio lugar a nuevas razas de maíz (Kato *et al.*, 2009). Aun cuando se ha avanzado de manera extraordinaria en entender las interrelaciones y semejanzas entre las razas de maíz, es difícil establecer las épocas y la dirección de la difusión que causó las similitudes y diferencias que existen en la actualidad (Sánchez, 2011).

El maíz en México se cultiva actualmente en un amplio rango de altitud y variación climática, desde el nivel del mar hasta los 3,400 m. Se siembran en zonas con escasa precipitación, en regiones templadas, en ambientes muy cálidos y húmedos, en escaso suelo, en pronunciadas laderas o en amplios valles fértiles, en diferentes épocas del año y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico (Hernández, 1985; CONABIO, 2011). A esta gran diversidad de ambientes, los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y habilidad, han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos (Muñoz, 2003).

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz (Goodman y McK. Bird, 1977), de las cuales 64 (29 %) se han identificado, y descrito en su mayoría, para México (Anderson, 1946; Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández y Alanís, 1970; Ortega, 1979; Benz, 1986; Sánchez 1989; Sánchez *et al.*, 2000). De las 64 razas que se reportan para México, 59 se pueden considerar nativas y cinco fueron descritas inicialmente en otras regiones (Cubano Amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala (Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño), pero que también se han colectado o reportado en el país (CONABIO, 2011).

La colección de maíz para mantener la diversidad genética en bancos de germoplasma se inició desde 1940, este proyecto fue puesto en marcha a través de la Oficina de Estudios Especiales (OEE) de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) con el apoyo de la Fundación Rockefeller, esta primera exploración agrupó más de 2,000 muestras, la cual fue la base para la publicación de las Razas de Maíz en México, donde se hizo la primera descripción de 25 razas de maíz (Wellhausen *et al.*, 1951). Décadas posteriores, diversos agrónomos de distintas instituciones realizaron varias colectas, sin embargo cada colecta se realizó con objetivos y metodologías distintas y en áreas restringidas.

Otro fuerte impulso se tuvo en los 70's, donde Hernández y Alanís (1970) recolectaron y describieron cinco razas del noroeste de México: Apachito, Azul, Gordo, Bofo y Tablilla de Ocho. En Tamaulipas, Ortega (1985) encontró el Ratón y Tuxpeño Norteño, en el estado de Veracruz, Coscomatepec y en Chiapas Motozinteco y Negro de Chimaltenango, en Michoacán el Mushito, en Chihuahua el Palomero de Chihuahua, en Morelos Ancho y en Sinaloa la raza Elotero de Sinaloa. En Oaxaca, Benz

(1986) encontró seis razas, que son: Chatino Maizón, Choapaneco, Dzit Bacal, Mixeño, Mixteco y Serrano Mixe. Finalmente Sánchez *et al.* (2000) reportaron que en México existían 59 razas de maíz. Desde entonces no se había hecho un esfuerzo constante y continuo para actualizar la situación que guarda la diversidad genética de los maíces nativos en México, a pesar de las advertencias de Hernández (1971), quien sugiere que no se debe coleccionar una sola vez, sino que hay que regresar una y otra vez por nuevas colectas (Ortega, 2003).

Durante el periodo de 2006 a 2010 la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) se dio a la tarea de recolectar todas las razas existentes para conocer la distribución más completa de las razas de los maíces nativos. En esta coyuntura se originó y desarrolló el proyecto global “*Recopilación, generación, actualización y análisis de la información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México*” liderado por la CONABIO, en coordinación con el Instituto Nacional de Ecología (INE) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Los resultados de este proyecto agruparon un total de 24,057 registros, del cual: 599 correspondieron a teocintle, 527 a *Tripsacum* y 22,931 a maíces nativos (CONABIO, 2011). En esta colección se identificaron 59 razas descritas para México, más cinco razas que en su momento fueron descritas en otros lugares fuera del país, pero que se encuentran presentes en México (Rincón *et al.*, 2010).

El germoplasma existente en algunas áreas del país, como la Península de Baja California, las partes montañosas de Tamaulipas, Tabasco y Norte de Chiapas, están deficientemente estudiados, debido principalmente a que no se ha recolectado extensivamente en estas regiones (Ortega *et al.*, 1991). Gran parte de los acervos de las diferentes colecciones han sido evaluados en diferentes ocasiones y ambientes (Velázquez *et al.*, 1994; Taba *et al.*, 1998; Herrera *et al.*, 2002; Turrent y Serratos, 2004), principalmente desde el punto agronómico; sin embargo, no se dispone de catálogos descriptivos de las muestras individuales. Por ello el objetivo del presente trabajo fue: 1) conocer la diversidad actual de maíces nativos en el estado de Veracruz; 2) caracterizar e identificar a nivel de raza los maíces nativos recolectados.

Materiales y Métodos

La determinación de los sitios de colecta se realizó considerando la importancia del cultivo y de la presencia de maíces nativos. Las colectas se realizaron durante los meses de mayo y junio del 2009 correspondientes al ciclo otoño-invierno y durante noviembre del 2009 hasta junio del 2010 correspondiente al ciclo primavera-verano 2009 y otoño-invierno 2009/10. Para la parte intermedia y alta solo fue un período de colecta en virtud que solamente se tiene un ciclo de cultivo al año y las cosechas se realizan en los meses de noviembre, diciembre y enero.

Se colectaron maíces criollos en las regiones Norte, Sur y región intermedia del estado de Veracruz. Hacia el norte del estado en los municipios de Tamiahua, Espinal, Papantla, Tuxpan, Castillo de Tea-

yo, Coatzintla, Alamo, Chicontepec, Benito Juarez. En la región centro de Jalapa, en los municipios de Acatlán, Chiconquiaco, Landero y Coss, Miahuatlán, Naolinco, Tonayan, Teocelo y Xico. En la región de Orizaba, en los municipios de La Perla, Mariano Escobedo, Tequila, Atahuilco, Tlaquilpa. En la región de Coscomatepec, los municipios de Alpatlahuac, Chocamán, Ayahualulco, Ixhuatlan de los Reyes, Coscomatepec y Calchahualco; En la región de Perote, los municipios de Villa Aldama, Altotonga, Atzalan y Jalacingo. Hacia el sur del estado se cubrieron los municipios de San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, Mecayapan, Tatahuicapan, Hueyapan de Ocampo, Catemaco, Acayucan y Jesús Carranza.

Se consideró una muestra entre 20 y 50 mazorcas, se trató de evitar, hasta donde fuera posible, obtener duplicados de la muestra. Se utilizó como base la hoja pasaporte para compendiar toda la información del cultivar, del productor y del sitio de colecta (datos no mostrados). Particularmente en cada lugar de colecta se registró las coordenadas: Latitud Norte, Longitud Oeste y la altura sobre el nivel del mar, nombre común de cultivar y el nombre del agricultor (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de colecta y procedencia de los maíces nativos evaluados durante el periodo de 2009 a 2010.

Colecta	Raza	Localidad	Latitud		Altitud msnm
			Norte	Oeste	
31	Tepecintle	Ohuilapan, San Andrés Tuxtla, Ver	18° 24.0' 5.2"	95° 15.0' 23.4"	133
139	Tuxpeño	Rancho Playa, Papantla, Ver.	20° 37.7' 11"	97° 9.9' 96.0"	25
205	Olotillo	Ohuilapan, San Andrés Tuxtla, Ver.	18° 24.0' 6.1"	95° 15' 53.6"	64
403	Celaya	Miahuatlán, Miahuatlán, Ver.	19° 42' 38.5"	96° 53' 29.94"	1890
405	Chalqueño	Miahuatlán, Miahuatlán, Ver.	19° 43' 18.8"	96° 51' 25.4"	1950
419	Mushito	Cruz Verde, Tonayan, Ver.	19° 41' 37.5"	96° 55.0' 23"	1823
472	Cacahuacintle	Loma Grande, Mariano Escobedo, Ver.	18° 55' 52.7"	97° 14' 13.2"	2772
473	Bolita	Loma Grande, Mariano Escobedo, Ver.	18° 55' 52.7"	97° 14' 13.2"	2772
479	Nal-Tel de	Tatahuilapa, Atahuilco, Ver.	18° 42' 26.4"	97° 05' 0.46"	1742
500	Altura Pepitilla	Tetelcingo, Coscomatepec, Ver	19° 03' 10.9"	97° 08' 40.8"	2289
509	Vandeño	La Esperanza, Hueyapan de Ocampo, Ver.	18° 16' 32.1"	95° 8.0' 44.4"	171
519	Ratón	El Chamizal, Hueyapan de Ocampo, Ver.	18° 16' 56.5"	95° 9.0' 43.0"	208
526	Onaveño	Tulapan, San Andrés Tuxtla, Ver.	18° 17' 42.3"	95° 15' 53.0"	27
575	Coscomatepec	Tetelcingo, Coscomatepec, Ver.	19° 03' 7.1"	97° 08' 49.8"	2294
595	Arrocillo	Cruz Blanca, Villa Aldama, Ver.	19° 38.0' 1.1"	97° 09' 40.9"	2376
597	Cónico	Villa Aldama, Villa Aldama, Ver.	19° 38' 26.9"	97° 19' 40.1"	2392
606	Elotes Cónicos	Lerdo de Tejada Altotonga, Ver.	19° 41' 21.4"	97° 14' 13.1"	2424

Se utilizó la información de los caracteres cuantitativos y cualitativos de la mazorca de las poblaciones nativas de maíces recolectados en el estado de Veracruz. Se utilizó un tamaño de muestra de 10 mazorcas representativas de cada población para realizar la descripción con base en la Guía Técnica y Manual Gráfico para la descripción varietal (SNICS-CP, 2009). Se cuantificó el número de hileras y el número de granos por hilera en la mazorca. Se determinó el diámetro de la mazorca y olote (cm), la longitud de la mazorca (cm), el peso seco de cien granos (g). Se determinó el largo, ancho y espesor (mm) del grano. También en cada mazorca se determinaron los caracteres cualitativos como la forma de la mazorca, la disposición de hileras en la mazorca, textura, color del grano y color de olote.

Resultados y Discusión

Se colectaron un total de 657 muestras de 17 maíces nativos, a lo largo del estado de Veracruz, donde el tamaño de colecta vario desde 20 hasta 50 mazorcas. Estas colectas fueron identificadas a nivel de raza, las cuales de acuerdo con la CONABIO (2011), se realizó la siguiente clasificación de la siguiente manera: Grupo Cónico o razas de las partes altas del centro de México, Grupo sierra de Chihuahua o razas de las partes altas del norte de México, Grupo de maíces de ocho hileras o razas del occidente de México, Razas de maíces tropicales precoces o de maduración temprana y Grupo de maíces dentados tropicales.

Grupo Cónico o razas de las partes altas del centro de México

El grupo Cónico incluye razas de maíz cuya característica resaltante es la forma cónica o piramidal de sus mazorcas, se distribuyen predominantemente en las regiones con elevaciones de más de 2,000 m (Sánchez *et al.*, 2000) y en su mayoría son endémicas a los Valles Altos y sierras del centro del país (Wellhausen *et al.*, 1951). Algunas razas que forman este grupo fueron localizadas en zonas de transición (1801-2000 m) y altura (más de 2000 m), principalmente la raza Arrocillo, Cacahuacintle, Cónico, Elotes Cónicos, Chalqueño y Mushito; de los cuales, se hace una descripción breve.

Arrocillo: el 70 % de las mazorcas examinadas presentaron una forma cónica, tiene una longitud y diámetro de 12.6 y 4.5 cm, respectivamente. El olote tiene un diámetro de 1.6 cm, en el cual se distribuyen 16 hileras con 28 granos bien dentados de color crema. Las hileras se disponen ligeramente en espiral. El color del olote en la parte media presentó una variación de 60 % rojo y 40 % blanco. El grano tiene 7.8 mm de ancho, una longitud de 14.5 mm, un espesor de 4.1 mm y 100 granos pesan 30 g, respectivamente (Figura 1a).

Cacahuacintle: el 80 % de las mazorcas examinadas presentaron una forma cónica-cilíndrica, tiene una longitud y diámetro de 16.2 y 5.5 cm, respectivamente. El olote tiene un diámetro de 2.8 cm, en el cual se distribuyen 12 hileras con 24 granos de textura cerosa y una coloración blanca. Las hileras se disponen ligeramente en espiral. El color del olote en la parte media presentó una coloración blanca. El grano tiene 11.4 mm de ancho, una longitud de 14.6 mm, un espesor de 6.3 mm y 100 granos pesan 30 g, respectivamente (Figura 1b).

Cónico: este tipo de maíz presenta una forma cónica-cilíndrica. La mazorca mide 12.5 cm de largo, 4.6 cm de diámetro, 16 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 24 granos. Las mazorcas examinadas presentaron un color crema y una variación en textura de 70 y 30 % grano dentado y semi-dentado, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una variación de 80 % blanco y 20 % rojo. El grano tiene 6.6 mm de ancho, una longitud de 14.6 mm, un espesor de 4.3 mm y 100 granos pesan 38 g, respectivamente (Figura 1c).

Elotes Cónicos: esta raza de maíz presenta una forma cónica. La mazorca mide 13.3 cm de largo, 4.8 cm de diámetro, 18 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 29 granos. Las mazorcas presentaron una coloración entre azul y azul oscuro y una variación en textura de 70, 20 y 10 % grano semi-dentado, semi-cristalino y dentado, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una coloración blanca. El grano tiene 6.2 mm de ancho, una longitud de 15 mm, un espesor de 3.9 mm y 100 granos pesan 28 g, respectivamente (Figura 1d).

Chalqueño: el 60 y 40 % de las mazorcas examinadas presentan una forma cónica-cilíndrica y cónica, respectivamente. La mazorca mide 18.5 cm de largo, 4.9 cm de diámetro, 16 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 40 granos. Las mazorcas presentan una coloración crema y grano dentado. El color del olote en la parte media presentó una coloración blanca. El grano tiene 7.8 mm de ancho, una longitud de 14.5 mm, un espesor de 4.1 mm y 100 granos pesan 30 g, respectivamente (Figura 1e).

Mushito: el 70 y 30 % de las mazorcas examinadas presentan una forma cónica-cilíndrica y cónica, respectivamente. La mazorca mide 17.8 cm de largo, 4.6 cm de diámetro, 14 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 40 granos. Las mazorcas presentan una coloración crema y grano dentado. El color del olote en la parte media presentó una variación de 90 % blanco y 10 % morado. El grano tiene 7.3 mm de ancho, una longitud de 12.8 mm, un espesor de 4.1 mm y 100 granos pesan 40 g, respectivamente (Figura 1f).

Figura 1. Grupo Cónico o razas de las partes altas del centro de México: a) Arrocillo; b) Cacahuacintle; c) Cónico; d) Elotes Cónicos; e) Chalqueño y f) Mushito.



Grupo de maíces de ocho hileras o razas del occidente de México

Este grupo incluye razas cultivadas en elevaciones bajas e intermedias, desde los valles centrales de Oaxaca hasta las cañadas del noroeste de México (CONABIO, 2011; Sánchez *et al.*, 2000). La raza bolita se cultiva especialmente para consumo como elotes y para varios usos especiales (téjate, galletas, pozole, huachales, tejuino, huajatoles, usos rituales, etc.). Por su parte, Onaveño es muy rendidor y apreciada para forraje (Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández, 1985). Algunas razas que forman este grupo fueron localizadas en zonas tropicales (0-1300 m) y de altura (más de 2000 m), principalmente Onaveño y Bolita.

Onaveño: un maíz de tipo cristalino, el 70 y 30 % de las mazorcas examinadas presentan una forma cónica-cilíndrica y cónica, respectivamente. La mazorca mide 18.1 cm de largo, 4.4 cm de diámetro, 10 hileras dispuestas en forma recta y cada hilera con 38 granos. Las mazorcas presentan una coloración crema. El color del olote en la parte media presentó una coloración blanca. El grano tiene 8.6 mm de ancho, una longitud de 10.2 mm, un espesor de 4.2 mm y 100 granos pesan 28 g, respectivamente (Figura 2a).

Bolita: las mazorcas de este maíz presentan 70 y 30 % forma cónica y cónica-cilíndrica, respectivamente. La mazorca mide 13.7 cm de largo, 4.4 cm de diámetro, 8 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 26 granos. Las mazorcas presentan una coloración crema y una variación en

textura de 80 y 20 % grano dentado y semi-dentado, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una variación de 90 % B; 10 %B. El grano tiene 7.2 mm de ancho, una longitud de 14.3 mm, un espesor de 4.1 mm y 100 granos pesan 56 g, respectivamente (Figura 2b).

Figura 2. Grupo de maíces de ocho hileras o razas del occidente de México: a) Onaveño; b) Bolita.



Razas de maíces tropicales precoces o de maduración temprana

Las razas que integran este grupo, se cultivan principalmente en terrenos del trópico seco y regiones semiáridas del país (100-1300 m), adaptadas a limitados regímenes de lluvia lo que les ha conferido un ciclo de maduración corta o temprana (CONABIO, 2011; Sánchez *et al.*, 2000). La raza Ratón se ha utilizado ampliamente como material de partida en el desarrollo de materiales mejorados (Muñoz, 2003).

Ratón: las mazorcas examinadas de este maíz presentan 80, 10 y 10 % forma cónica-cilíndrica, cilíndrica y cónica, respectivamente. La mazorca mide 15.3 cm de largo, 4.2 cm de diámetro, 10 hileras dispuestas de forma recta y cada hilera con 34 granos. Las mazorcas presentan una coloración crema y una variación en textura de 80 y 20 % grano dentado y semi-dentado, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una variación de 90 % blanco y 10 % rojo. El grano tiene 7.8 mm de ancho, una longitud de 14.5 mm, un espesor de 4.1 mm y 100 granos pesan 30 g, respectivamente (Figura 3a).

Figura 3. Razas de maíces tropicales precoces o de maduración temprana: a) Ratón.



Grupo de maíces dentados tropicales

Este grupo incluye razas agrónomicamente muy importantes del sur de México, distribuidas principalmente en regiones intermedias y de baja altitud. Las razas de este grupo y sus derivados, son probablemente las más usadas en los programas de mejoramiento genético a nivel mundial (Sánchez *et al.*, 2000). Algunas razas encontradas se describen a continuación.

Tuxpeño: estas atractivas mazorcas cilíndricas dentadas, miden 18.9 cm de largo, 4.7 cm de diámetro, 14 hileras dispuestas en forma recta y cada hilera con 42 granos. Las mazorcas presentan una coloración crema. El color del olote en la parte media presentó una coloración blanca. El grano tiene 9.3 mm de ancho, una longitud de 12 mm, un espesor de 3.8 mm y 100 granos pesan 38 g, respectivamente (Figura 4a).

Tepecintle: este tipo de maíz presenta el 70 y 30 % de forma cilíndrica una forma cónica-cilíndrica. La mazorca mide 17.7 cm de largo, 4.2 cm de diámetro, 10 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 34 granos. Las mazorcas examinadas presentaron un color crema y una variación en textura de 70 y 30 % grano semi-dentado y dentado, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una variación de 80 % blanco y 20 % rojo. El grano tiene 9.1 mm de ancho, una longitud de 11.7 mm, un espesor de 3.6 mm y 100 granos pesan 38 g, respectivamente (Figura 4b).

Vandeño: las mazorcas de este maíz presentan 60 y 40 % forma cónica-cilíndrica y cilíndrica, respectivamente. La mazorca mide 17.8 cm de largo y 5 cm de diámetro. El olote tiene un diámetro de 2.9 cm, en el cual se distribuyen 14 hileras con 40 granos dentados de color crema. Las hileras se disponen en el 50 % de manera ligeramente en espiral y 50 % rectas, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una coloración blanca. El grano tiene 9.5 mm de ancho, una longitud de 11.5 mm, un espesor de 3.7 mm y 100 granos pesan 32 g, respectivamente (Figura 4c).

Celaya: un maíz de tipo dentado, el 80 y 20 % de las mazorcas examinadas presentan una forma cónica-cilíndrica y cónica, respectivamente. La mazorca mide 19 cm de largo, 5 cm de diámetro, 14 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 37 granos. Las mazorcas presentan una coloración crema. El color del olote en la parte media presentó una coloración blanca. El grano tiene 8.3 mm de ancho, una longitud de 14.4 mm, un espesor de 4.9 mm y 100 granos pesan 46 g, respectivamente (Figura 4d).

Pepitilla: la característica más sobresaliente esta raza es el grano extremadamente largo, puntiagudo y frecuentemente con un “pico” en su ápice. Mazorcas tipo cónico y de textura dentado. La mazorca mide 14.4 cm de largo y 4.8 cm de diámetro. El olote tiene un diámetro de 1.8 cm, en el cual se distribuyen 14 hileras con 25 granos de color crema. Las hileras en el 70, 20 y 19 % se disponen ligeramente en espiral, espiral y rectas, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una variación de 80 % blanco y 20 % rojo. El grano tiene 6.6 mm de ancho, una longitud de 16.4 mm, un espesor de 4 mm y 100 granos pesan 36 g, respectivamente (Figura 4e).

Nal-Tel de Altura: la forma de la mazorca de esta raza presenta 80 y 20 % forma cónica-cilíndrica y cilíndrica, respectivamente. La mazorca mide 16.6 cm de largo, 4.6 cm de diámetro, 14 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 31 granos. Las mazorcas examinadas presentaron una variación de 60, 30 y 10 % de grano pinto, azul oscuro y morado, respectivamente. Con 70 y 30 % de textura semi-dentado y dentado, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una variación de 90 % blanco y 10 % rojo. El grano tiene 8 mm de ancho, una longitud de 12 mm, un espesor de 4.6 mm y 100 granos pesan 42 g, respectivamente (Figura 4f).

Figura 4. Grupo de maíces dentados tropicales: a) Tuxpeño; b) Tepecintle; c) Vandefño; d) Celaya; e) Pepitilla; f) Nal-Tel de Altura.



Grupo de maíces de maduración tardía

Este grupo incluye razas que se cultivan en un amplio rango de altitud (Aragón *et al.*, 2006). El rango amplio de adaptación de este grupo ha facilitado que se cultiven, algunas de ellas, desde el nivel del mar hasta las tierras altas de ladera y condición húmeda y nubosa de las sierras del sureste y centro-oriente del país (Ortega, 2003; CONABIO, 2011).

Olotillo: un maíz de tipo dentado, con mazorcas cilíndricas. La mazorca mide 17.4 cm de largo, 4 cm de diámetro, 10 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 44 granos. Las mazorcas presentan una coloración crema. El color del olote en la parte media presentó una coloración blanca. El grano tiene 8.9 mm de ancho, una longitud de 11.2 mm, un espesor de 4.2 mm y 100 granos pesan 29 g, respectivamente (Figura 5a).

Coscomatepec: un maíz de color crema, la forma de la mazorca de esta raza presenta 50 y 50 % forma cilíndrica y cónica-cilíndrica, respectivamente. La mazorca mide 17.9 cm de largo, 4.5 cm de diámetro, 12 hileras dispuestas ligeramente en espiral y cada hilera con 40 granos. Con 90 y 10 % de textura dentado y semi-dentado, respectivamente. El color del olote en la parte media presentó una variación de 90 % blanco y 10 % rojo. El grano tiene 8.1 mm de ancho, una longitud de 14.2 mm, un espesor de 3.3 mm y 100 granos pesan 40 g, respectivamente (Figura 5b).

Figura 5. Grupo de maíces de maduración tardía: a) Olotillo; b) Coscomatepec.



Conclusiones

Se colectaron un total de 657 muestras de maíz criollo o nativo en el estado de Veracruz. Se encontraron 17 tipos de razas y variantes dentro de razas. En la identificación de razas en altitudes de 0-1300 m, predominaron las razas Tuxpeño y Olotillo e introgresión de razas con la presencia de Tuxpeño y Olotillo. En la región intermedia (1801-2000m) las razas más frecuentes fueron: Coscomatepec y Celaya. En altitudes mayores a los 2000 msnm las razas más importantes fueron: Cónico, Elotes cónicos, Chalqueño, Arrocillo amarillo y Cacahuacintle. De las colectas realizadas se encontró una mayor frecuencia de maíces criollos con grano de color blanco y crema y en menor proporción amarillo, negro pinto y rojo. Existe diversidad genética en maíz que debe conservarse y aprovecharse en los programas de mejoramiento.

Referencias Bibliograficas

- Anderson, E. 1946. Maize in Mexico. A preliminary survey. *Annals of Missouri Botanical Garden* 33: 147-247.
- Aragón, F., S. Taba, J. M. Hernández, J. D. Figueroa, V. Serrano, F. H. Castro. 2006. *Catálogo de maíces criollos de Oaxaca*. Libro Técnico 6. INIFAP. México D. F. 344 p.
- Benz, B. F. 1986. *Taxonomy and evolution of Mexican maize*. Ph. D. Diss., University of Wisconsin, Madison. 433 p.
- CONABIO. 2011. Base de datos del proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 98 p.

- Doebley, J. 2006. Unfallen grains: How ancient farmers turned weeds into crops. *Science* 312: 1318-1319.
- Goodman M. M. and R. Mck Bird. 1977. The races of maize: IV Tentative grouping of 219. *Latin American Races. Econ. Bot.* 31: 204-221.
- Hernández X., E. 1971. Exploración etnobotánica y su metodología, México, Colegio de Posgraduados, Escuela nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- Hernández X., E. 1985. Maize and man in the Greater Southwest. *Econ. Bot.* 39:416-430.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5: 3-30.
- Herrera C., B. E., A. Macías L., R. Díaz R., M. Valadez R. y A. Delgado A. 2002. Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 17-23.
- Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos, R. A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.
- Muñoz O., A. 2003. Centli-maíz. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. Ortega P., R. 1979. Reestudio de las razas Mexicanas de maíz. Informe Anual. Campo Experimental de la Mesa Central. INIA. Chapingo, México. 210 p
- Ortega P., R. 1985a. Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para mejoramiento. Traducción al español de la tesis de doctorado abreviada. Instituto de Plantas N. I. Vavilov. Leningrado, URSS. 22 p.
- Ortega P., R. 2003. La diversidad de maíz en México. In: Sin Maíz no hay País, G. Esteva y C. Marielle, coordinadores, CONACULTA, México. pp. 123-154.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. En: Ortega P., R. A., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds.). 1991. Avances en el estudio de los recursos Fitogenéticos de México. SOMEFI. Chapingo, México. pp. 161-185.
- Rincón S., F., F. Castillo G. y M. A. Ruíz T. 2010. Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, México. 116 p.
- Sánchez G. J.J., M.M. Goodman, and C.W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- Sánchez G., J. J. 2011. Diversidad del maíz y teocintle. Informe preparado para el proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México” de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 98 p.

Sánchez G., J.J. 1989. Relationships among the mecian Races of Maize. Ph. D. Diss. North Carolina State University Departament of crop Science, Raleigh, N.C. 187 p.

SNICS-CP 2009. Manual Grafico para la Descripción Varietal de Maíz (*Zea mays* L.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) - Colegio de Postgraduados (CP). SAGARPA. 118 p.

Taba, S., F. Aragón C., J. Díaz C., F. H. Castro G. y J. M. Hernández C. 1998. Cultivares locales de maíz para su conservación y mejoramiento en Oaxaca, México. En: Ramírez V., P., F. Zavala G., O. Gómez M., F. Rincón S. y A. Mejía C. (eds.). Memorias del XVII Congreso de Fitogenética. 218 p.

Turrent, A. and J. A. Serratos. 2004. Context and background on maize and its wild relatives in México. In: Maize and Biodiversity: The effects of transgenic maize in México, Chapter 1. pp: 1-55.

Velázquez R., P., A. Santacruz V. y A. Muñoz O. 1994. Selección de maíces criollos en el área de Parachopichataro, de la sierra Tarasca, Michoacán. En: Ramírez V., P., F. Zavala G., N. E. Treviño H., E. Cárdenas C. y M. Martínez R. (Comp.). Memorias del 11° congreso Latinoamericano de Genética y XV Congreso de Fitogenética. SOMEFI. México. 352 p.

Wellhausen, E., L. M. Roberts, E. Hernández X. y P.C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5, México: Oficina de Estudios Especiales, S.A.G. 237 p.

Edición a cargo de Francisco Pérez Soto

Investigación en Química, Biología y Agronomía

Esta publicación estuvo a cargo de la DICEA
Se imprimieron 200 ejemplares
en junio de 2014

En los talleres de Editorial Studio Litográfico
Abasolo No. 60 Col. El Carmen, Texcoco Centro
Tel: 595 95 599 72

E-mail: studiolitografico@yahoo.com.mx
studiotexcoco@hotmail.com