



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

ECOLOGÍA EVOLUTIVA

EXPRESIÓN DE LA RESISTENCIA Y TOLERANCIA EN VARIEDADES DE MAÍZ

NATIVO Y COMERCIAL ANTE EL DAÑO CAUSADO POR EL HERBÍVORO

GENERALISTA *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

LLAMAS GUZMÁN LUZ PALESTINA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. JUAN ENRIQUE FORNONI AGNELLI

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ

IIES, UNAM

DRA. EK DEL VAL DE GORTARI

IIES, UNAM

MÉXICO, D.F. ENERO, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

ECOLOGÍA EVOLUTIVA

EXPRESIÓN DE LA RESISTENCIA Y TOLERANCIA EN VARIEDADES DE MAÍZ

NATIVO Y COMERCIAL ANTE EL DAÑO CAUSADO POR EL HERBÍVORO

GENERALISTA *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

LLAMAS GUZMÁN LUZ PALESTINA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. JUAN ENRIQUE FORNONI AGNELLI

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ

IIES, UNAM

DRA. EK DEL VAL DE GORTARI

IIES, UNAM

MÉXICO, D.F. ENERO, 2016

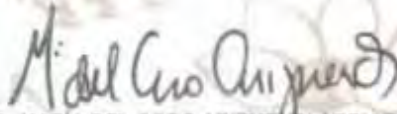
Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted, que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas, en su sesión ordinaria del día 12 de octubre de 2015, aprobó el jurado para la presentación de su examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del Posgrado en Ciencias Biológicas, de la alumna **LLAMAS GUZMÁN LUZ PALESTINA** con número de cuenta **300208267** con la tesis titulada "**Expresión de la resistencia y tolerancia en variedades de maíz nativo y comercial ante el daño causado por el herbívoro generalista *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)**", bajo la dirección del **DR. JUAN ENRIQUE FORNONI AGNELLI**:

Presidente:	DR. JUAN SERVANDO NÚÑEZ FARFÁN
Vocal:	DRA. BEATRIZ RENDÓN ÁGUILAR
Secretario:	DRA. EK DEL VAL DE GORTARI
Suplente:	DR. JOHN LARSEN
Suplente:	DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ

Si otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 04 de diciembre de 2015


DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA



c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

Agradecimientos institucionales

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo para realizar este proyecto de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de posgrado (número de becario 288704).

Agradezco al Instituto de Ecología, UNAM.

Agradezco al Dr. Juan Enrique Fornoni Agnelli, por la ayuda, el apoyo, los comentarios y la orientación en el desarrollo del proyecto. Por la siempre disposición, confianza y paciencia durante la dirección desde el inicio, hasta el final del proyecto.

Agradezco a los integrantes de mi comité tutorial a la Dra. Ek del Val de Gortari y al Dr. Alejandro Casas Fernández.

Agradezco a la Dr. Ek del Val de Gortari, por su apoyo, comentarios de la tesis, orientación y por la siempre ayuda en todo.

Agradezco al Dr. Alejandro Casas Fernández, por la orientación, las sugerencias al proyecto, por los comentarios de la tesis y por la siempre ayuda en todo.

Agradecimientos personales

A mi familia: Ramón, Irene y Faviola,

por apoyarme en todo momento y enseñarme las cosas más importantes de la vida: el amor, el compromiso, la lucha por las causas justas y la verdad.

A Humberto:

Por estar siempre a mi lado, por todo el apoyo y por ser el sol que alumbra mi camino y me da la energía para seguir adelante. Gracias por todo y por dejarme ver que eres un ser humano increíble. Me gusta que te gusten los maíces y que ese gusto lo compartimos.

Al Dr. Juan Fornoni por toda la ayuda, confianza y sobre todo paciencia para lograr el desarrollo y el término del proyecto. Gracias por todas las enseñanzas y los consejos y sugerencias para mejorar en mi trabajo científico.

Gracias a la Dra. Karina Boege Paré, por los consejos, opiniones, sugerencias para mejorar la tesis y el apoyo para lograr concluir el trabajo.

Al M. en C. Rubén Pérez Ishiwara por el apoyo logístico y técnico brindado en la elaboración del proyecto de investigación.

Gracias a los miembros del jurado por los comentarios, por todo el apoyo y la revisión de la tesis: Dra. Ek del Val de Gortari, Dr. Alejandro Casas Fernández, Dra. Beatriz Rendón Aguilar, Dr. Juan Servando Nuñez-Farfán y Dr. John Larsen.

Gracias a los miembros, compañeros y amigos del laboratorio de Interacción Planta-Animal: Lupita, Diego, Paula, Brenda, Benito, Manuel, Miguel, Sofía, Blanquita, Xóchilt, Pau, Emiliano, Michelle, Lupita e Inari.

A toda mi familia, que siempre me ha apoyado y en especial a mi abuelita, por ayudarme en todo lo que necesito.

A mis amigos por escucharme, por las porras, los consejos y por las aventuras compartidas: Álvaro (Coco), Andrés, Gaby Gaby, Cris, Anaid, Yannick, Fátima, Yeco, Pável, Paulina, Adrián, Caro, Cristian y Alfredo (Choks).

A la familia Villarreal, por el apoyo y la ayuda en el desarrollo de la tesis.

Gracias a todas las personas que participaron en la ayuda en campo: Mari Cruz, Luis, Gabriela, Ana, Alfredo (Choks), Favs, Brenda y en especial al señor Miguel Ruíz, por acompañarme y apoyarme durante el desarrollo del experimento. Brenda gracias por la ayuda en el insectario. Gracias Alejandro y Rafa por las pláticas de R.

“Por mi raza hablará el espíritu”

**“Nada en biología tiene sentido
si no es a la luz de la evolución.”**

Theodosius Dobzhansky

ÍNDICE	
Resumen	<i>i</i>
Abstract	<i>ii</i>
I. Introducción	1
II. Material y Método	6
Sistema de estudio	6
Diseño experimental	8
Análisis de datos	13
III. Resultados	17
IV. Discusión	28
V. Conclusiones	37
VI. Literatura citada	38
ANEXO 1	43
ANEXO 2	71

Resumen

En este trabajo se evaluó la resistencia y la tolerancia de variedades nativas y variedades comerciales de maíz ante el daño causado por el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae) una de sus principales plagas. En particular, se determinó: (i) si las variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) presentan niveles más elevados de defensa (resistencia y tolerancia) que las variedades comerciales frente al daño causado por el gusano cogollero, (ii) si existen diferencias entre las variedades nativas en la expresión de los diferentes mecanismos defensivos y si existe alguna relación entre éstos. Para tal fin, se realizó un experimento en el cual donde se emplearon diecisiete diferentes variedades de maíz nativo de diferentes estados de México (Oaxaca, Michoacán, Tlaxcala, Sinaloa y Chiapas) y dos diferentes variedades de maíz comercial. Se tuvieron dos tratamientos: plantas que no recibieron daño y plantas que recibieron daño. El tratamiento de daño consistió en la aplicación del 50-60% de daño en hojas totalmente expandidas. A cada una de las hojas necesarias para causar esta cantidad de daño en las diferentes variedades de maíz se les colocó una larva del estadio cuatro de *S. frugiperda* y después de una semana todas las larvas se removieron y posteriormente se midió la cantidad de daño. También, se llevó a cabo una prueba de resistencia constitutiva bajo condiciones controladas en un insectario. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que hay diferencias entre las variedades nativas y comerciales en la expresión de los diferentes mecanismos defensivos (resistencia y tolerancia). La variedad Olotillo de Oaxaca resultó ser la variedad nativa de maíz más resistente ante el daño causado por el gusano cogollero, mientras que la variedad Tablita fue la variedad más tolerante. Dentro de las variedades comerciales sobresale el híbrido 302 ya que éste fue resistente y tolerante ante el daño causado por el gusano cogollero. El diámetro de tallo y el área foliar de las hojas expandidas son atributos importantes para tolerar el daño causado por el gusano cogollero y al parecer el número de tricomas es un atributo importante para resistir el daño aunque, estos resultados deben tomarse con cautela. Finalmente, es importante mencionar que dentro de los resultados sobresale el estado de Oaxaca ya que aquí podemos encontrar a la variedad que resultó ser resistente y a la variedad que fue tolerante ante daño causado por el gusano cogollero.

Abstract

In this work we evaluated the resistance and tolerance of native and commercial varieties of corn in relation to damage caused by (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae), one of its main pests. In particular, it was determined: (i) whether the native varieties of maize (*Zea mays* L.) have higher levels of defense (resistance and tolerance) than commercial varieties against the damage caused by *Spodoptera frugiperda*, (ii) and if there are differences between the native varieties in the expression of different defense mechanisms, as well as whether there is any relationship between them. We carried out an experiment, in which seventeen different varieties of native corn from different Mexican states (Oaxaca, Michoacán, Tlaxcala, Sinaloa and Chiapas) and 2 commercial hybrids were used. Two treatments were applied: plants without damage and plants with 50-60 % damage on fully expanded leaves. In the damage treatment, each of the different varieties of corn a fourth stage larva of *S. frugiperda* was placed on each leaf, and after one week all larvae were removed and the amount of damage was measured. Additionally, we performed a constitutive resistance test under insectary conditions. The results show differences between native and commercial varieties in the expression of different defense mechanisms (resistance and tolerance). The Olotillo Oaxaca native variety was the most resistant, while the variety Tablita was the most tolerant. The commercial hybrid variety 302 was resistant and tolerant to damage. The stem diameter and leaf area of expanded leaves are important attributes to tolerate damage caused by *S. frugiperda* and apparently the number of trichomes is important to resist. Finally, the Oaxaca state draws attention because here we find the resistant and tolerant varieties of corn.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cereales cultivados a nivel mundial y la principal fuente de alimentación en México (Kato *et al.*, 2009; Álvarez *et al.*, 2011). Junto con el trigo, el arroz, la papa y la soya representa la base de la alimentación mundial (Taba, 1995). México es considerado el centro de origen de este cultivo y se ha reportado que en el territorio existen 59 diferentes razas de maíz nativo, cada una de éstas adaptada a diferentes condiciones bióticas del lugar de domesticación y consideradas reservorios genéticos (Hernández-Xolocotzi, 1987; Aragón *et al.*, 2005; CONABIO, 2015). El maíz también ocupa un lugar importante dentro de la cultura del país, ya que las diferentes comunidades indígenas son las que han domesticado y resguardado los diferentes maíces nativos a lo largo de los años (Boege, 2008; Kato *et al.*, 2009). Según datos de la SAGARPA (2014), en nuestro país se destina el 47% de la superficie agrícola al cultivo de esta especie.

En México, el maíz se cultiva bajo dos sistemas de producción clasificados con base en su composición: el monocultivo y el policultivo. El monocultivo ocupan el 30% de la producción mientras que el policultivo el 70% restante (Smith & McSorley, 2000). Estos dos tipos de sistemas de producción se han desarrollado bajo escenarios ecológicos, evolutivos y de selección artificial diferentes. Por un lado, el sistema de monocultivo ha sido resultado de un sistema intensivo de selección artificial durante los últimos 50 años (Perfecto *et al.*, 2009), en el cual, la finalidad del sistema es obtener mayor rendimiento por unidad de superficie (un alto número de mazorcas y granos). Se caracteriza por presentar un escenario en el que no hay limitación de recursos para las plantas debido al uso de diferentes insumos químicos como los fertilizantes y riego, hay nula o poca competencia inter-específica por el empleo de

herbicidas y la presencia de diferentes plagas es controlada con un elevado uso de insecticidas (Altieri & Nicholls 2007; Glaeser, 2011). El uso de éstos insecticidas ocasiona que las plagas se adapten para resistir a sus principios activos dando paso a una “carrera armamentista” (Dawkins & Krebs, 1979) en la que nuevos mecanismos de resistencia surgen y se crean nuevos productos químicos para contrarrestarla y prácticamente muchos de estos agroquímicos tienen un impacto negativo en el ambiente, dañando severamente la biodiversidad y la salud humana (Bianchi *et al.*, 2006).

Por otro lado, en el policultivo las variedades nativas de maíz han sido domesticadas por más de 6,000 años (Benz, 2001; Doebley, 2004), asociadas a variedades de calabaza (*Cucurbita* spp.) y frijol (*Phaseolus* spp.), también sujetas a domesticación incluso de manera paralela, bajo la presencia de diferentes enemigos naturales (*i.e.* patógenos, insectos herbívoros y parásitos) con el propósito principal de satisfacer los requerimientos de autoconsumo de las familias productoras. Este sistema desarrollado hace miles de años se conoce como milpa (Jiménez & Gómez, 1987). En la actualidad se emplean diferentes abonos orgánicos y se ha mencionado que en este tipo de cultivos la infestación por plagas es menor (Smith & McSorley, 2000).

Durante la llamada “Revolución Verde”, durante los años 60 en México (Everson & Gollin, 2003), se comenzaron a sembrar y a crear diferentes variedades de maíz comercial bajo diferentes procesos de mejoramiento genético. Como consecuencia, actualmente en el mercado se encuentran diferentes híbridos de maíz o variedades sintéticas (Márquez, 2009). Estas variedades de maíz se comenzaron a sembrar en una gran cantidad de hectáreas, por lo cual se comenzó a emplear maquinaria pesada dentro de la agricultura. Finalmente, el sistema de monocultivo comenzó a adoptarse

sobre todo en algunos estados del norte del país como Sinaloa, Tamaulipas, en algunas zonas del Altiplano y del Bajío, en donde las condiciones resultaban favorables para ponerlo en práctica.

Al comparar diferentes plantas domesticadas con sus ancestros silvestres, se ha observado que las plantas domesticadas han sido modificadas en algunos rasgos morfológicos y fisiológicos similares, los cuales en conjunto son conocidos como “síndromes de domesticación” (Baker, 1972; Rindos, 1984; Heiser, 1988; Meyer *et al.*, 2012). Entre tales rasgos se puede identificar que algunas plantas domesticadas han perdido los mecanismos naturales de dispersión. El proceso de germinación es más rápido y sincrónico en plantas cultivadas que en sus ancestros ya que en algunos casos se ha perdido la latencia, lo que permite una germinación en menor tiempo y con mayor uniformidad (Fuller & Allaby, 2009). La maduración de los frutos se produce casi de manera simultánea (Zohary *et al.*, 1969). Frecuentemente hay cambio en el color de los frutos o de las semillas (Powell *et al.*, 1986), cambios en la arquitectura de la planta (*i.e.* se reduce el número de ramas laterales) y pueden modificarse diferentes atributos relacionados con la historia de vida de la planta (Rindos, 1984). En relación con los mecanismos de defensa de las plantas se ha reportado, que debido a sus costos, las plantas domesticadas disminuyen la expresión de sus atributos defensivos en comparación con sus ancestros silvestres (Rosenthal & Welter, 1995; Rosenthal & Dirzo, 1997; Juvik *et al.*, 1982).

En nuestro país, los cultivos de maíz son atacados por diferentes herbívoros tanto generalistas como especialistas. Entre éstos, el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es una de las principales plagas asociadas al cultivo del maíz presente en el continente Americano (Andrews, 1980., Wiseman & Davis, 1979). En México, se

encuentra prácticamente en todas las regiones donde se siembra maíz, abundando en regiones del trópico y el subtrópico (Ortega, 1987; SAGARPA, 2006) donde ocasiona pérdidas del 30% - 60% o la pérdida total del cultivo (Andrews, 1980). Los estados de la república donde se ha reportado la presencia de cogollero son: Nayarit, Coahuila, Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Guerrero, Veracruz, Chiapas, Sonora, Guadalajara, Colima, Nuevo León, Campeche, Durango, Querétaro, San Luis Potosí, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Guanajuato, Oaxaca y el Estado de México (Rojas *et al.*, 2004; Soto, 2008; Rios *et al.*, 2011; Estrada *et al.*, 2013).

Las plantas han desarrollado dos mecanismos de defensa contra el daño causado por los herbívoros, la resistencia y la tolerancia (Núñez-Farfán *et al.*, 2007). La resistencia son atributos que evitan o reducen la cantidad de daño causado por los herbívoros (Rosenthal & Kotanen, 1994; Karban & Baldwin, 1997). La tolerancia es la capacidad que tiene una planta para disminuir el efecto negativo del daño por herbívoros sobre su éxito reproductivo, luego de que el daño ocurrió (Strauss & Agrawal, 1999; Strauss *et al.*, 2003). Hasta ahora los estudios realizados sobre los mecanismos de defensa del maíz, han registrado que las variedades nativas presentan mayores niveles de resistencia que las variedades comerciales de maíz nativo (Rosenthal & Dirzo, 1997). En cuanto a la tolerancia, estudios previos muestran que los teocintles (*Zea parviglumis*), ancestros del maíz, presentan mayores niveles de tolerancia que las variedades comerciales ya que éstos tienen la capacidad de activar meristemas basales, atributo que las variedades nativas perdieron al seleccionarse dominancia apical, por lo que se perdió una de la característica relacionada a la tolerancia (Rosenthal & Welter, 1995).

Durante el proceso de domesticación de los maíces, se ha favorecido una disminución en los niveles de resistencia en comparación con sus ancestros los teocintles (Rosenthal & Welter, 1995; Rosenthal & Dirzo, 1997) por lo cual, los maíces podrían atenuar el daño causado por los herbívoros por medio de características relacionadas con la tolerancia (*i.e.* aumento en la absorción de recursos o redistribución de recursos después de que el daño ocurre) características que podrían haber sido seleccionadas de manera inconsciente durante la historia de domesticación del maíz. Debido a esto, en este estudio se esperaría encontrar diferencias en la expresión de la resistencia y la tolerancia de las variedades nativas y comerciales de maíz. Además, si los maíces nativos han coexistido con sus enemigos naturales durante toda su historia de domesticación, a diferencia de las variedades comerciales, se espera que las variedades nativas expresen mayores niveles de los diferentes mecanismos defensivos (resistencia y tolerancia) que las variedades comerciales (Fig.1). También, si las diferentes variedades nativas de maíz fueron domesticadas bajo condiciones ambientales y bióticas particulares de cada región, se espera que exista variación entre éstas en los mecanismos de defensa (resistencia y tolerancia). La finalidad de este trabajo es: (1) Determinar si las variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) presentan niveles más elevados de defensa (resistencia y tolerancia) que las variedades comerciales frente al daño causado por *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), y (2) Determinar si existen diferencias entre las variedades nativas en la expresión de los diferentes mecanismos defensivos (resistencia y tolerancia), y si existe alguna relación entre éstos.

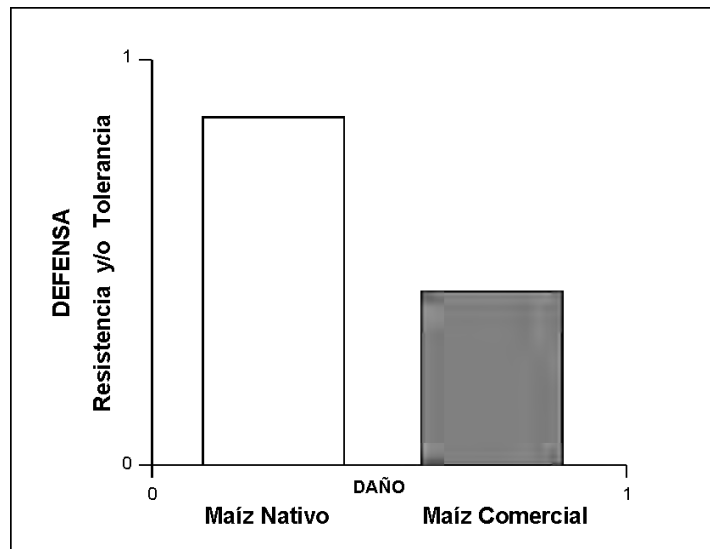


Figura 1. Modelo hipotético que muestra la defensa (Resistencia y/o Tolerancia) de maíces nativos y maíces comerciales. Maíces de variedades nativas presentan altos niveles de defensa.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sistema de estudio.

El maíz (*Zea mays* L.) (Fig.2) es una planta anual monoica de polinización abierta adaptada a diferentes tipos de suelo, de climas, así como también a diferentes altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3900 msnm, (Weatherwax, 1918; Tapia & De la Torre, 1998). Las plantas pueden alcanzar una altura de 1 hasta 4 m en algunas regiones de México, según cada variedad. Tiene un ciclo de vida corto que va de tres a cuatro meses o un ciclo largo de cinco a seis meses. Existe variación en la forma, color y textura de la mazorca. El maíz tiene crecimiento apical a diferencia de su ancestro (el teocintle) el cual tiene la capacidad de activar meristemos basales (Weatherwax, 1918). Como mecanismos de resistencia se ha reportado la presencia de metabolitos secundarios como flavonoides (Guevara, 2000), así como tricomas foliares (Moose *et al.*, 2004; Bellota, *et al.*, 2013). Diferentes estudios previos muestran que para nuestro país existen 59 diferentes razas de maíz nativo

(Hernández-Xolocotzi, 1987; Aragón, *et al.*, 2005; CONABIO, 2015). Algunos maíces (como Tuxpeño, Cónico y Chalqueño) han sido empleados para diferentes programas de mejoramiento genético por lo cual, dentro del mercado de semillas podemos encontrar diferentes híbridos o variedades sintéticas de maíz con diferentes atributos y características. Estas variedades mejoradas tienen diferentes propósitos, ya que algunas han sido mejoradas para obtener mayor rendimiento o para ser resistentes a ciertas enfermedades de las hojas, tallos y raíces (Márquez, 2009). El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) (Fig. 3) es un herbívoro generalista y una de las principales plagas del maíz, afecta todas las zonas productoras del norte del país, siendo las más afectadas las siembras tardías, mientras que las zonas menos afectadas son las zonas del altiplano (SAGARPA, 2006). Este gusano ataca al maíz tanto en etapa juvenil como adulta causando daño a las hojas, mazorcas y cuando el daño es muy severo puede consumir la espiga. El gusano cogollero tiene seis estadios larvales y uno de pupa, siendo los estadios larvales 3, 4, 5 y 6 los que ocasionan la mayor cantidad de daño a las plantas. Cuando las larvas emergen comienzan a raspar la epidermis foliar, posteriormente se van hacia el verticilo (cogollo) donde causa el mayor daño. Por lo general, en el cogollo sólo se encuentra una sola larva ya que se ha reportado que en el segundo o tercer estadio larval hay canibalismo. La etapa de pupa se inicia pocos centímetros por debajo del suelo y posteriormente emergen las palomillas de color gris oscuro las cuales después de una semana se aparean y comienzan a ovipositar, por lo regular, en el envés de la planta (Luginbill, 1928; Ortega, 1987).



Figura 2. Plantas de maíz (*Zea mays* L.). Foto: Llamas-Guzmán L. P. 2013.

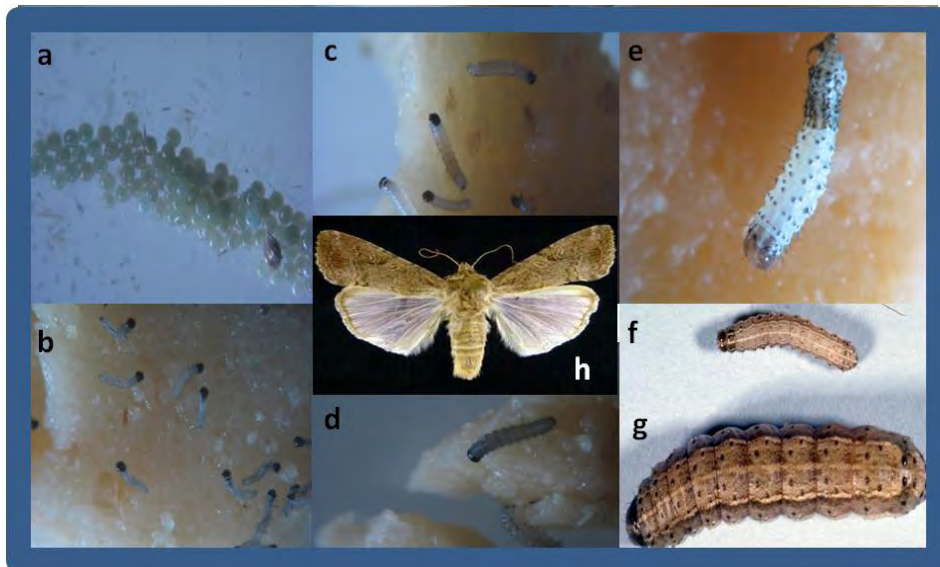


Figura 3. Ciclo de vida del herbívoro generalista *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). a) Huevos, b) Larvas estadio uno, c) Larvas estadio dos, d) Larvas estadio tres, e) Larvas estadio cuatro, f) Larvas estadio cinco, g) Larvas estadio seis, h) Adulto. Foto: Llamas-Guzmán L. P. 2013; USDA Agricultural Research Service & Mississippi State University.

Diseño experimental

El experimento se realizó en una parcela ubicada al sur de la ciudad de México (19°17'21.9" N 99° 14'46.9" O). En relación a las prácticas agrícolas, los lugareños mencionan que años atrás empleaban herbicidas en este sitio aunque, últimamente prefieren utilizar diferentes abonos orgánicos. Se colectaron 17 diferentes variedades

de maíz nativo de cinco estados de la república (Oaxaca, Michoacán, Tlaxcala, Sinaloa y Chiapas) y 2 diferentes variedades de maíz comercial (Híbrido 507 e Híbrido 302) adquiridos en una tienda de semillas en el estado de Oaxaca. (Fig. 4) (Anexo 2. Cuadro 1). El 3 de mayo de 2013 se sembraron las semillas de maíz de las diferentes variedades nativas y comerciales, en bloques con un diseño aleatorizado. Las semillas se distribuyeron en un espacio de 500 m² con un metro de espacio entre cada planta. Las condiciones de siembra fueron de temporal. En total se tuvieron 10 réplicas por tratamiento por variedad (10 réplicas x 2 tratamientos x 19 variedades = 380 plantas).



Figura 4. Mapa de los diferentes estados donde se obtuvieron las variedades nativas de maíz. Fuente CONABIO, 2015, realizado por: Pereza-Villarreal.

En cada una de las plantas se registró la altura (cm), el diámetro del tallo (mm), la dureza de la quinta hoja (g/cm²), el área de las hojas expandidas de cada planta (cm²), el número de hojas totalmente expandidas antes de aplicar los tratamientos, el día del primer avistamiento de la espiga, (aparición de jilote), liberación de polen, día de cosecha (corte de mazorca), el número de mazorcas producidas por planta, el número

de semillas producidas por mazorca y el peso seco de las semillas (g). El índice de contenido de clorofila (ICC) se midió por la mañana, entre las 10:00 y las 12:00 hrs con un medidor portátil para campo de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (CCM-200, Opti-Sciences, Hudson, NH, EE.UU.). La fotosíntesis se midió entre las 10:00 y las 15:00 hrs con el aparato CIRAS-1 (PP Systems, USA). Se tuvo una sola medición por planta y estas se tomaron al primer avistamiento de la espiga.

Resistencia

La resistencia se estimó como $1 -$ la cantidad de daño (Rausher & Simms) mediante un medidor de área foliar (LI-COR 3000 C). Las plantas del tratamiento con daño fueron utilizadas para medir resistencia constitutiva. Al primer avistamiento de la espiga se aplicaron dos tratamientos (presencia y ausencia de daño por larvas del herbívoro *S. frugiperda*). El tratamiento de daño consistió en la aplicación del 50-60% de daño en hojas totalmente expandidas. Antes de colocar las larvas a cada una de las plantas se les midió el área foliar de las hojas totalmente expandidas que tenía en ese momento, posteriormente se sumó el área total que tenía la planta y se realizó el cálculo de área necesaria (o lo mismo, hojas necesarias) para causar 50-60% de daño. A cada una de las hojas necesarias para causar esta cantidad de daño en las diferentes variedades de maíz se les colocó una larva del estadio cuatro de *S. frugiperda* y después de una semana todas las larvas se removieron. Posteriormente, a la planta se le quitaron estas hojas dañadas para lograr el 50-60% de daño foliar (Fig. 5). Estas hojas se prensaron y posteriormente se volvió a medir el área foliar de estas hojas para determinar el área consumida por las larvas. Para evitar que la larva se moviera a otra hoja ésta se cubrió con malla de tul (Fig. 5). Por último, las plantas se autopolinizaron con el método llamado “Método de la bolsa para espiga” (López, 1995) para hacer polinizaciones

manuales y se esperó hasta el crecimiento de la mazorca para finalmente contar el número de semillas producidas por cada planta.

Resistencia en insectario.

Se llevó a cabo una prueba de resistencia constitutiva bajo condiciones controladas de insectario (26°C; 12:12 Luz:Oscuridad). La resistencia constitutiva de las plantas se midió utilizando un cuadro de 12.5 cm² de cada planta antes de iniciar el tratamiento de daño. Dicha área foliar se expuso a una larva del herbívoro por 24 horas en el insectario del Instituto de Ecología, UNAM. Posteriormente las hojas se escanearon con el programa ImageJ para medir el área foliar consumida por las larvas. Finalmente, a estas hojas se les contó el número de tricomas en el haz en un círculo con un área de 0.95 cm².

Tolerancia

La tolerancia se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Tolerancia} = 1 - \left[\frac{\bar{W} \text{ de plantas sin daño} - W \text{ de plantas con daño}}{\bar{W} \text{ de plantas sin daño}} \right]$$

Donde:

\bar{W} : Promedio de semillas producidas de las plantas del tratamiento sin daño de cada variedad.

W: Número de semillas de cada planta del tratamiento con daño.

Nota: Valores mayores a uno representan plantas que sobrecompensaron el daño, plantas con valores menores a uno no compensaron el daño y plantas con valores igual a uno fueron plantas que compensaron el daño.

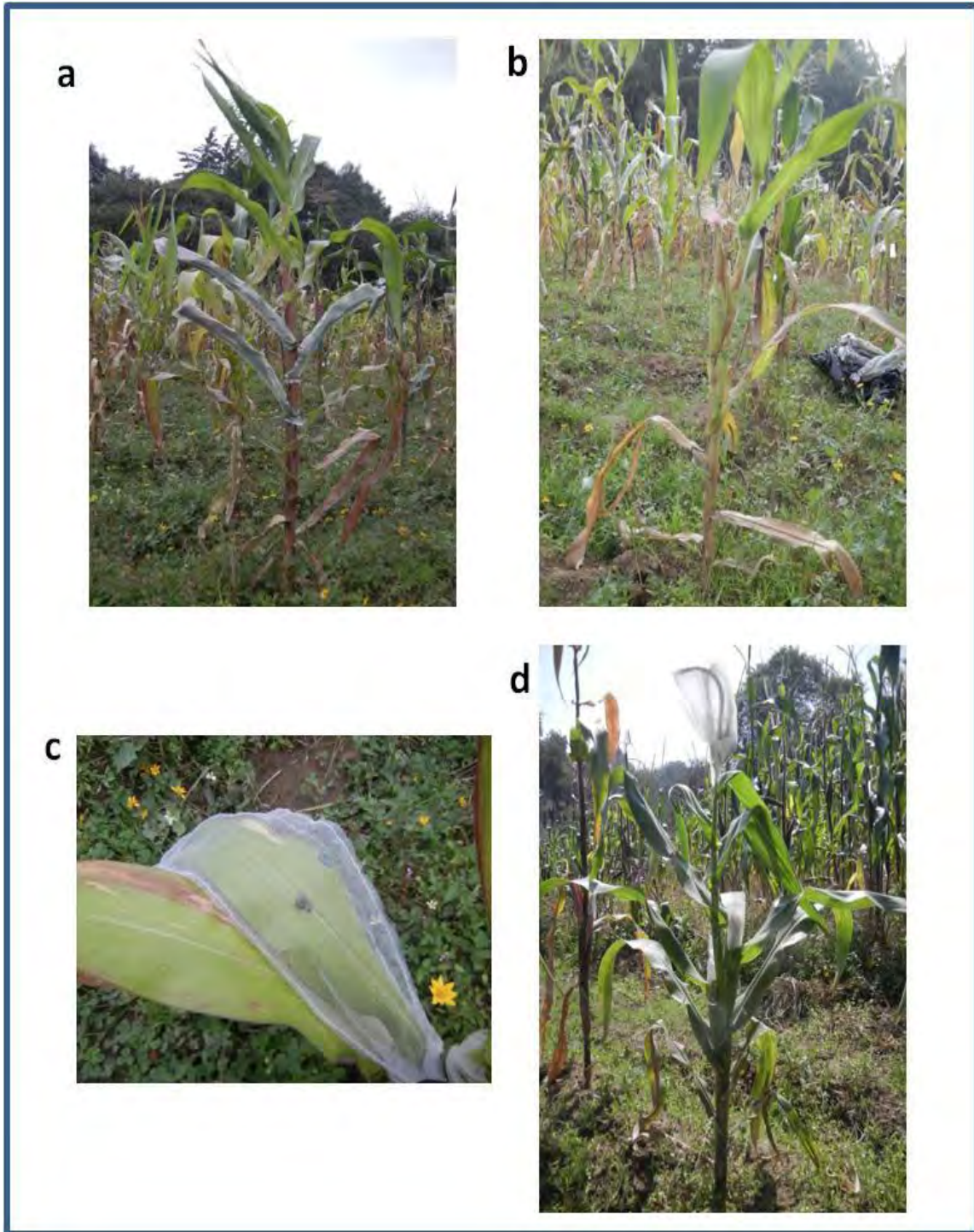


Figura 5. a) Se muestra la manera en que se colocó la tela de tul en las plantas, b) Planta del tratamiento con daño, c) Larva estadio cuatro, d) Polinización de maíces. Foto: Llamas-Guzmán L.P. 2013.

Análisis de datos

La altura, diámetro del tallo, dureza, peso seco de las semillas, área de hojas expandidas, clorofila, tasa de fotosíntesis, el número de hojas expandidas y el número de tricomas se evaluaron mediante un Análisis de Varianza Anidado. El modelo incluyó las siguientes fuentes de variación: estado y variedad anidada en estado. Para este análisis únicamente se incluyeron las variedades nativas de maíz debido a que las variedades comerciales se distribuyen en más de un estado. Posteriormente se realizaron pruebas Tukey-Kramer para detectar cuáles medias diferían entre sí. El número de plantas empleadas para este análisis fue de 318. Para esta prueba se utilizó el paquete **stats** de R (R Development Core Team 2009). Posteriormente, para comparar la altura, diámetro del tallo, dureza, peso seco de las semillas, área de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis, número de hojas expandidas y el número de tricomas entre las variedades nativas y las variedades comerciales de maíz se realizaron pruebas de Dunnett. Cada una de las variedades nativas de los diferentes estados fueron comparadas con cada una de las variedades control (variedad comercial H-507 o variedad comercial H-302) para detectar cuáles medias diferían de la media control. El número de plantas empleadas para este análisis fue de 355 plantas. Para esta prueba se utilizó el programa JMP (SAS, 1999).

Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales y es una prueba multivariada para explicar y simplificar la estructura de un conjunto de variables, trata de encontrar una cantidad de variables que expliquen la mayor variación total, en este análisis interesan las variables y la contribución de cada una de éstas (Crawley, 2007).

En este trabajo, se realizó un análisis de componentes principales para examinar la presencia de una estructura entre los caracteres vegetativos y fisiológicos. Para este análisis se tomaron en cuenta las variables: altura, diámetro de tallo, dureza, área de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis y número de hojas expandidas de cada planta. Para este análisis se emplearon 355 plantas y se usó la función **princomp** del programa estadístico R (R Development Core Team 2009).

Resistencia constitutiva en insectario y en campo

La resistencia se calculó como: $\text{Resistencia} = 1 - \text{la cantidad de daño}$. Para medir la resistencia constitutiva en insectario se utilizaron 318 plantas y para medir la resistencia en campo únicamente se tomaron en cuenta las plantas del tratamiento con daño, por lo cual, para este análisis se utilizaron datos de 158 plantas. Se llevó a cabo un Análisis de Varianza Anidado donde el modelo incluyó como fuente de variación el estado y variedad anidada en estado y como variable de respuesta la resistencia. Posteriormente se realizaron pruebas Tukey-Kramer para detectar cuáles medias diferían entre sí. Para esta prueba se utilizó el paquete **stats** de R (R Development Core Team 2009). Para detectar diferencias entre la resistencia constitutiva y las variedades comerciales de maíz se realizaron pruebas Dunnett. Para esta última prueba se utilizó el programa JMP (SAS, 1999).

Tolerancia

Para este análisis se utilizó información de 121 plantas debido a que se excluyeron las plantas que no produjeron semillas, así como aquellas que produjeron menos de 4 semillas. En general, el número mínimo de plantas empleadas por variedad fue de 16 y el máximo de 20 plantas. El modelo incluyó como fuente de variación estado y variedad anidada en estado y como variable de respuesta tolerancia. Posteriormente

se realizaron pruebas Tukey-Kramer para detectar cuáles medias diferían entre sí. Para esta prueba se utilizó el paquete **stats** de R (R Development Core Team 2009). Posteriormente, para detectar diferencias entre la tolerancia y las variedades comerciales de maíz se realizaron pruebas Dunnett. El número de plantas empleadas para esta prueba fue de 277. Para esta última prueba se utilizó el programa JMP (SAS, 1999).

Análisis de Factores

El Análisis de Factores busca definir grupos de variables (factores) que están altamente correlacionadas entre sí o variables latentes, por lo que explica un fenómeno de forma más minuciosa, establece cuál es la contribución de las variables originales a cada uno de estos factores y se basa en la varianza compartida o varianza común existente entre las diferentes variables (Méndez & Rondón, 2012).

Para definir grupos de variables correlacionadas se llevó a cabo un Análisis de Factores. El número de plantas empleadas para esta prueba fue de 355. Para esta prueba se utilizó el paquete **stats** de R (R Development Core Team 2009).

Correlaciones

Se realizaron correlaciones entre los promedios de los diferentes atributos medios, y entre la resistencia y la tolerancia. A partir del análisis de componentes principales se obtuvieron los scores del primer y segundo componente (los cuales hacen referencia al vigor vegetativo y a la fisiología de la planta respectivamente), dichos scores se incluyeron dentro de las correlaciones de resistencia y tolerancia. El número de plantas empleadas para las correlaciones entre los diferentes atributos fue el promedio por variedad de las 355 plantas y el promedio de los valores obtenidos de los niveles de resistencia y tolerancia de cada variedad. También se llevaron a cabo correlaciones

para cada una de las variedades y los diferentes atributos medidos. Las correlaciones entre los diferentes atributos se llevaron a cabo con el paquete **stats** de R (R Development Core Team 2009).

Análisis de Funciones Discriminantes

Debido a que se encontraron diferencias significativas en los niveles de tolerancia, se llevó a cabo un análisis de funciones discriminantes. El objetivo de este análisis fue conocer la identificación de diferentes grupos (combinación de ciertas variables que comparten las plantas que no compensaron el daño, las plantas tolerantes y las plantas que sobrecompensaron el daño). El número de plantas empleadas para este análisis fue de 355 plantas. Este análisis se llevó a cabo con el programa JMP (SAS, 1999).

RESULTADOS

Análisis de Varianza Anidados

Se encontraron diferencias significativas dentro de las diferentes variedades de maíz dentro de los diferentes estados para los siguientes atributos: altura, diámetro de tallo, número de hojas expandidas, área total de hojas expandidas, clorofila y número de tricomas. Entre los diferentes estados también se encontraron diferencias significativas en la altura, diámetro de tallo, dureza, número de hojas expandidas, área total de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis y número de tricomas (Tabla 1. Anexo 1, Fig. 14-21).

Tabla 1. Resultados del Análisis de Varianza Anidado. Los valores en negritas indican los efectos significativos (N=318).

Variables y Fuente de variación	g.l	F	P
Altura			
Estado	4	84.251	<2.2e-16***
Estado:variedad	12	7.613	2.574e-12***
Diámetro tallo			
Estado	4	11.0325	2.313e-08***
Estado:variedad	12	2.5852	0.002783***
Dureza			
Estado	4	10.4175	6.472e-08***
Estado:variedad	12	1.2713	0.2346
Número de hojas expandidas			
Estado	4	56.6609	<2.2e-16***
Estado:variedad	12	3.5641	5.616e-05***
Área total de hojas			
Estado	4	58.701	<2.2e-16***
Estado:variedad	12	14.626	<2.2e-16***
Clorofila			
Estado	4	68.842	<2.2e-16***
Estado:variedad	12	13.515	<2.2e-16***
Fotosíntesis			
Estado	4	12.1967	3.343e-09***
Estado:variedad	12	0.9603	0.487
Tricomas			
Estado	4	13.7581	2.571e-10***
Estado:variedad	12	2.6492	0.002175***

Variedades nativas y variedades comerciales

Se encontraron diferencias significativas entre las variedades nativas y comerciales de maíz en altura, diámetro de tallo, dureza, área total de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis, número de hojas expandidas y número de tricomas. (Anexo 1, Fig. 34-49).

Resistencia

No se encontraron diferencias significativas dentro de las diferentes variedades de maíz dentro de los diferentes estados para la resistencia constitutiva en insectario y en campo. Entre los diferentes estados únicamente se encontraron diferencias significativas para la resistencia constitutiva en campo, donde los estados de Oaxaca (0.777 ± 0.01), Chiapas (0.782 ± 0.01) y Tlaxcala (0.750 ± 0.01) fueron los estados que tuvieron los mayores niveles de resistencia y el estado de Sinaloa (0.674 ± 0.02) tuvo los menores niveles de resistencia constitutiva en campo (Tabla 2, Fig. 6).

Tabla 2. Resultados del Análisis de Varianza Anidado para resistencia constitutiva bajo condiciones de insectario (N=318) y campo (N=158). Los valores en negritas indican los efectos significativos.

Variabes y Fuente de variación	g.L	F	P
Condiciones de Insectario			
Resistencia			
Estado	4	1.9859	0.09659
Estado:variedad	12	1.6461	0.07829
Condiciones en campo			
Resistencia			
Estado	4	5.0579	0.0007727***
Estado:variedad	12	1.1292	0.3413442

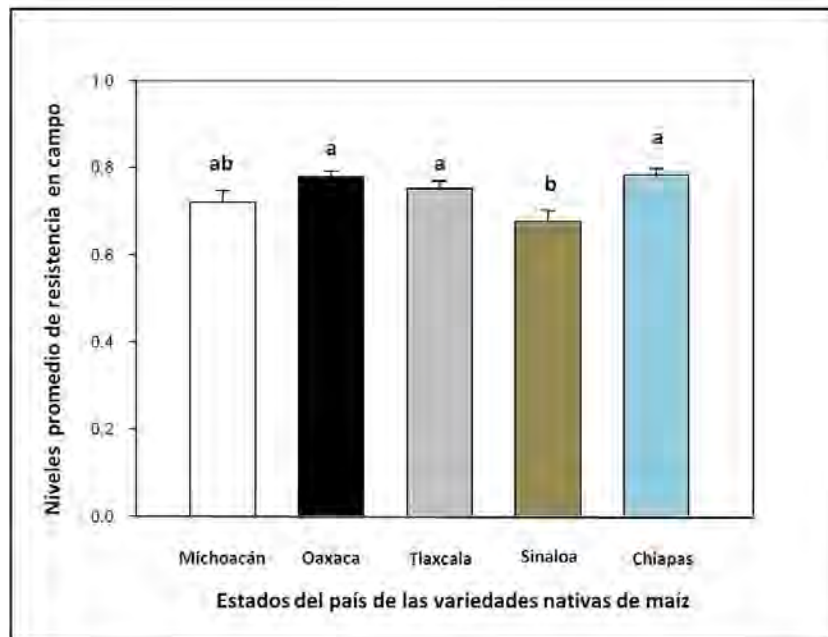


Figura 6. Resistencia promedio bajo condiciones de campo de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado al que pertenecen.

Resistencia de variedades nativas y comerciales de maíz

Se encontraron diferencias significativas entre las variedades nativas y comerciales de maíz en la resistencia en insectario y en la resistencia en campo. En la resistencia en insectario, la variedad Olotillo de Oaxaca tuvo los mayores valores de resistencia (0.676 ± 0.04) y la variedad comercial híbrido 507 tuvo los menores niveles de resistencia (0.489 ± 0.05). La variedad de Tlaxcala Complejo Cónico-chalqueño tuvo los menores niveles de resistencia (0.395 ± 0.4) en comparación con el híbrido 302 (0.616 ± 0.03) que tuvo los mayores niveles de resistencia. En la resistencia en campo la variedad comercial híbrido 302 tuvo los mayores niveles de resistencia (0.783 ± 0.03) y la variedad nativa Elotero Sinaloa tuvo los menores niveles de resistencia constitutiva (0.627 ± 0.04) (Fig. 7-9).

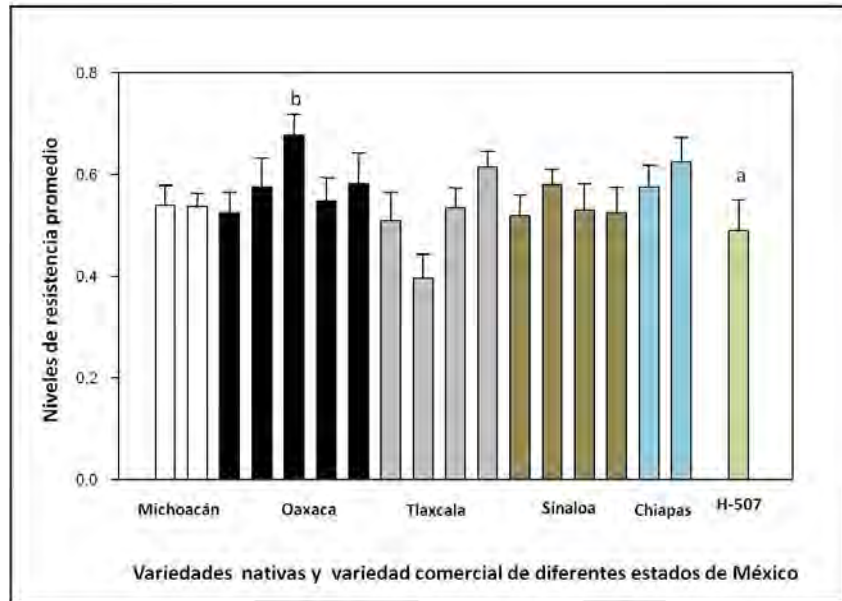


Figura 7. Niveles de resistencia constitutiva promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz bajo condiciones de insectario. Michoacán: Cónico y Tabloncillo. Oaxaca: Bolita, Chaparro, Olotillo, Tepecintle y Tablita. Tlaxcala: Áncho, Complejo Cónico-Chalqueño, Chalqueño y Cacahuacintle. Sinaloa: Chapalote, Elotero Sinaloa, Tabloncillo Perla y Tabloncillo Culiacán. Chiapas: Vandeño y Comiteco. Variedades comerciales: Híbrido 507 o Híbrido 302.

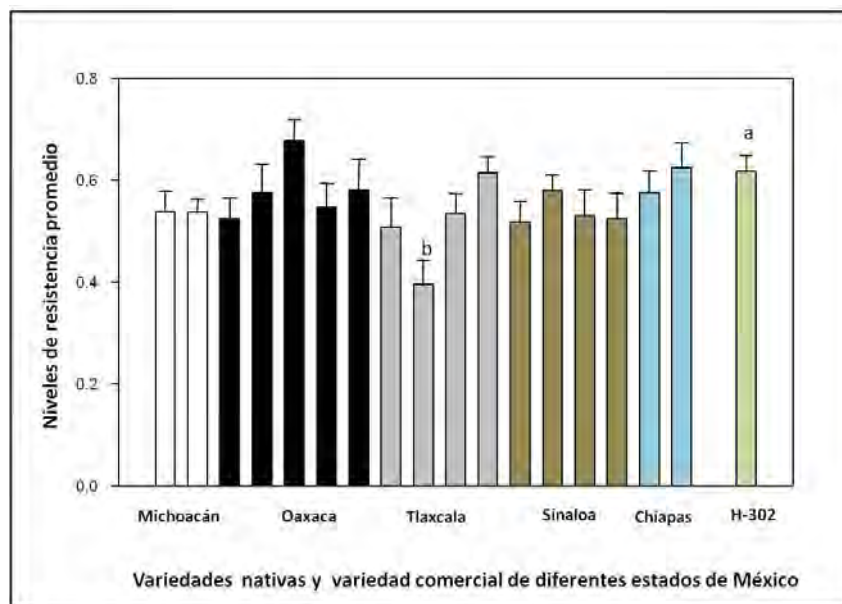


Figura 8. Niveles de resistencia constitutiva promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz bajo condiciones de insectario. Michoacán: Cónico, Tabloncillo. Oaxaca: Bolita, Chaparro, Olotillo, Tepecintle y Tablita. Tlaxcala: Áncho, Complejo Cónico-Chalqueño, Chalqueño y Cacahuacintle. Sinaloa: Chapalote, Elotero Sinaloa, Tabloncillo Perla y Tabloncillo Culiacán. Chiapas: Vandeño y Comiteco. Variedades comerciales: Híbrido 507 o Híbrido 302.

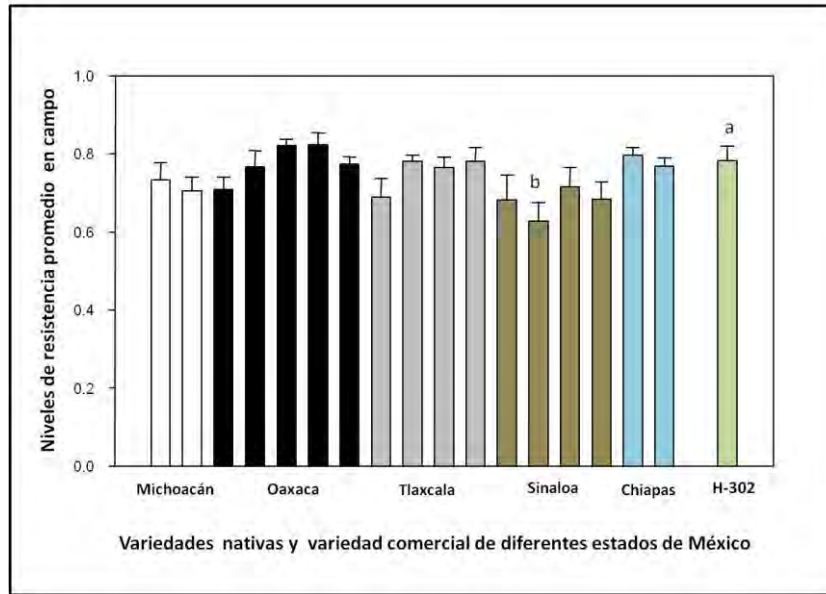


Figura 9. Niveles de resistencia constitutiva promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz bajo condiciones de campo. Michoacán: Cónico y Tabloncillo. Oaxaca: Bolita, Chaparro, Olotillo, Tepecintle y Tablita. Tlaxcala: Áncho, Complejo Cónico-Chalqueño, Chalqueño y Cacahuacintle. Sinaloa: Chapalote, Elotero Sinaloa, Tabloncillo Perla y Tabloncillo Culiacán. Chiapas: Vandeño y Comiteco. Variedades comerciales: Híbrido 507 o Híbrido 302.

Análisis de Varianza Anidado de Tolerancia

En relación con la tolerancia, únicamente se encontraron diferencias significativas dentro de las diferentes variedades de maíz dentro de los diferentes estados, siendo la variedad Tablita (2.10 ± 0.89) del estado de Oaxaca la variedad que sobrecompensó el daño mientras que las variedades Bolita (0.745 ± 0.16), Chaparro (0.521 ± 0.18) y Tepecintle (0.353 ± 0.11), también del estado de Oaxaca, no compensaron el daño (Fig. 10).

Tabla 3. Resultados del Análisis de Varianza Anidado para tolerancia (N=121). Los valores en negritas indican los efectos significativos.

Variabes y Fuente de variación	g.L	F	P
Tolerancia			
Estado	4	1.6066	0.178078
Estado:variedad	11	3.0964	0.001219***

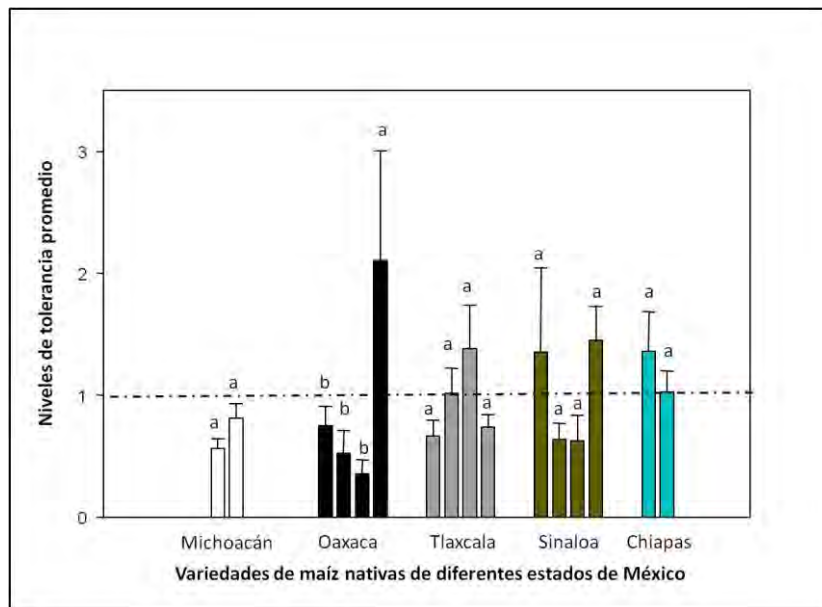


Figura 10. Niveles de tolerancia promedio de las diferentes variedades nativas de maíz de cada estado. Michoacán: Cónico y Tabloncillo. Oaxaca: Bolita, Chaparro, Tepecintle y Tablita. Tlaxcala: Áncho, Complejo Cónico-Chalqueño, Chalqueño y Cacahuacintle. Sinaloa: Chapalote, Elotero Sinaloa, Tabloncillo Perla y Tabloncillo Culiacán. Chiapas: Vandéño y Comiteco.

Tolerancia variedades nativas y comerciales de maíz

Se encontraron diferencias significativas entre las variedades nativas y comerciales de maíz en tolerancia. La variedad nativa Tablita de Oaxaca tuvo los mayores niveles de tolerancia (2.104 ± 0.89) y el híbrido 507 tuvo los menores niveles de tolerancia (0.651 ± 0.24). La variedad Tepecintle de Oaxaca tuvo los menores niveles de tolerancia (0.353 ± 0.11) y la variedad comercial H-302 tuvo el mayor nivel de tolerancia (1.119 ± 0.13) (Fig. 11-12).

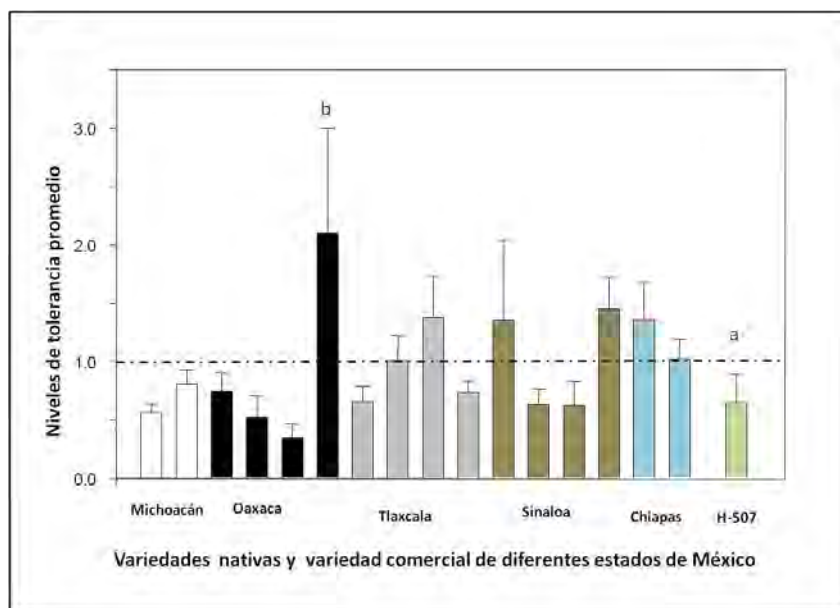


Figura 11. Niveles de tolerancia promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz. Michoacán: Cónico y Tabloncillo. Oaxaca: Bolita, Chaparro, Tepecintle y Tablita. Tlaxcala: Áncho, Complejo Cónico-Chalqueño, Chalqueño y Cacahuacintle. Sinaloa: Chapalote, Elotero Sinaloa, Tabloncillo Perla y Tabloncillo Culiacán. Chiapas: Vandeño y Comiteco. Variedades comerciales: Híbrido 507 o Híbrido 302.

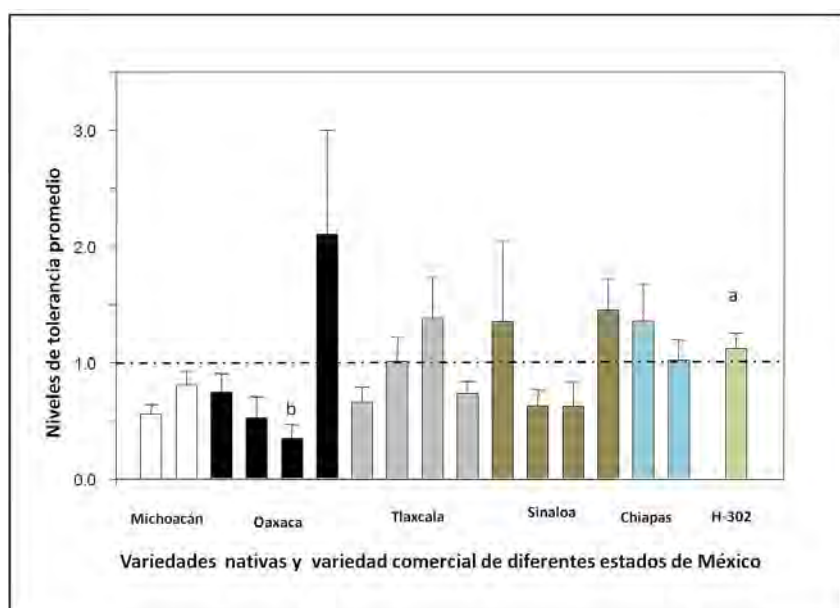


Figura 12. Niveles de tolerancia promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz. Michoacán: Cónico y Tabloncillo. Oaxaca: Bolita, Chaparro, Tepecintle y Tablita. Tlaxcala: Áncho, Complejo Cónico-Chalqueño, Chalqueño y Cacahuacintle. Sinaloa: Chapalote, Elotero Sinaloa, Tabloncillo Perla y Tabloncillo Culiacán. Chiapas: Vandeño y Comiteco. Variedades comerciales: Híbrido 507 o Híbrido 302.

Análisis de Componentes Principales

En el análisis de componentes principales, el componente principal 1 explica el 45% de la varianza y junto con el componente principal 2 explican el 64% de la varianza. Con los resultados de este análisis podemos ver que se pueden separar dos grupos: uno relacionado con el vigor vegetativo de la planta (componente principal 1) entre las que se encuentran las variables de altura, área de hojas expandidas y el número de hojas expandidas. El otro grupo se relaciona con aspectos fisiológicos de la planta (componente principal 2) que comprende las variables de dureza y fotosíntesis (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de Componentes Principales de la varianza explicado por distintas combinaciones de los atributos de las variedades nativas y comerciales de maíz (N=355). Los números en negritas denotan valores estadísticamente significativos de las cargas ($P < 0.05$).

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
Eigenvalor	3.2151390	1.2927743	0.7874893	0.7148880	0.6293499	0.2425106	0.1178489
% varianza	0.4593056	0.1846820	0.1124985	0.1021269	0.08990713	0.03464437	0.01683556
% acumulado	0.4593056	0.6439876	0.7564861	0.8586129	0.94852007	0.98316444	1.00000000
Atributo							
Altura	-0.49750170	0.05317281	-0.1776882	-0.070887034	-0.27507858	0.629362648	0.4912240517
Número de hojas expandidas	-0.49652667	-0.04309272	-0.0588340	0.042751291	-0.28372881	-0.758820770	0.3000069583
Área de hojas expandidas	-0.48105161	-0.15975850	-0.3303663	-0.320718777	-0.03200484	0.056383715	-0.7258517325
Dureza	-0.05789496	0.67976977	-0.5563801	0.283063502	0.35786533	-0.074714706	-0.0001178827
Fotosíntesis	-0.15697626	0.59776239	0.5104887	-0.587265497	0.10211002	-0.045406038	-0.0084222299
Clorofila	-0.35737746	0.16618169	0.5042192	0.682114428	-0.08768299	0.131382779	-0.3165408638
Diámetro de tallo	-0.34471822	-0.35038511	0.1421318	0.001009566	0.83463949	0.003023665	0.2038748443

Análisis de Factores

En base en el Análisis de Factores, es posible apreciar que el factor 1 tiene el mayor peso sobre las variables de área total de hojas expandidas, altura, número de hojas expandidas y diámetro de tallo, atributos que se relacionan con el vigor vegetativo de la planta. El factor 2 tiene el mayor peso en la variable de clorofila, atributo relacionado a la fisiología de la planta (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de Factores explicado por los diferentes atributos de las variedades nativas y comerciales de maíz (N=355). Los números en negritas denotan valores estadísticamente significativos ($P<0.05$).

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Peso factor	2.541	1.155	0.586
% varianza	0.363	0.165	0.084
% acumulado	0.363	0.528	0.612
Área de hojas expandidas	0.987		
Altura	0.790	0.224	0.361
Número de hojas expandidas	0.737	0.346	0.209
Ancho de tallo	0.577	0.275	-0.326
Clorofila	0.237	0.945	0.215
Fotosíntesis	0.105	0.128	0.332
Dureza			0.383

Análisis de Funciones Discriminantes

El análisis de funciones discriminantes muestra una mejor resolución de los grupos de plantas: plantas que no toleran el daño, plantas que toleran el daño y plantas que sobrecompensan el daño. El 56.88% de las plantas se encuentran correctamente clasificadas. Los caracteres más relevantes para la separación de las plantas no tolerantes fueron la clorofila y en un menor grado la altura. El carácter que se asoció para discriminar a las plantas no tolerantes de las plantas tolerantes y plantas que

sobrecompensaron el daño fue el número de hojas expandidas, pero esta asociación es muy débil. Finalmente, los caracteres más importantes para el grupo de plantas que compensaron el daño fueron el número de semillas, el diámetro del tallo, la dureza y en menor grado el área total de hojas expandidas (Tabla 6, Fig. 13).

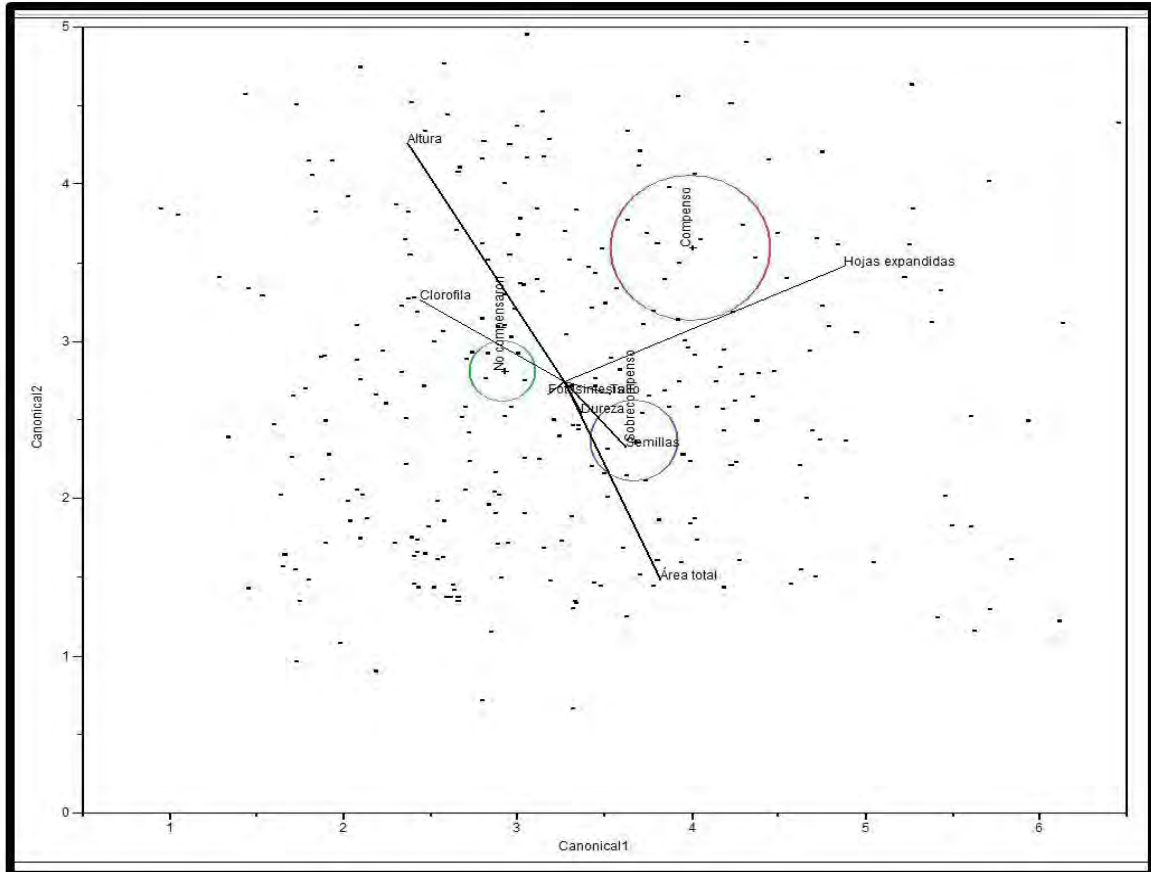


Figura 13. Gráfica de análisis de Funciones Discriminantes. La clasificación de las plantas corresponde a sus niveles de tolerancias: plantas que no compensaron el daño, plantas tolerantes y plantas que sobrecompensaron el daño.

Tabla 6. Análisis de Funciones Discriminantes. Los valores en negritas indican los efectos significativos (N=355).

Función discriminante	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado	Correlación canónica
1	0.17841405	58.9799	58.9799	0.38910389
2	0.12408562	41.0201	100.0000	0.33224698
3	1.2352e-17	0.0000	100.0000	0
Funciones derivadas	Lambda de Wilks	F	<i>g.l</i>	<i>p</i>
1 a 2	0.7549231	5.0184	16	<.001

Correlaciones

La altura se correlacionó de manera significativa con la mayoría de los atributos medidos (Tabla 7). La resistencia en insectario se correlacionó con el score del segundo componente (score relacionado con la fisiología de la planta). La resistencia en campo se correlacionó de manera negativa con el score del componente uno (score relacionado al vigor vegetativo) y también tuvo una correlación positiva con el número de hojas (Tabla 7). También se llevaron a cabo correlaciones entre las diferentes variedades de maíz y los atributos medidos (Tabla 10-28).

Tabla 7. Matriz de correlaciones entre los diferentes atributos medidos. En la tabla se muestra el grado de asociación (N=355). Los números en negritas denotan valores estadísticamente significativos de la correlación (P<0.05).

Atributo	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas	Resistencia insectario	Resistencia campo	Tolerancia	Score 1	Score 2
Altura	1											
Diámetro tallo	0.6596	1										
Dureza	0.2877	-0.2824	1									
Área total	0.8385	0.8175	0.0140	1								
Clorofila	0.5035	0.1596	0.3526	0.1210	1							
Fotosíntesis	0.5614	0.1877	0.6350	0.3894	0.6175	1						
Número de hojas expandidas	0.8964	0.5912	0.2456	0.7315	0.5947	0.5684	1					
Número de semillas	0.3052	0.2649	0.0508	0.0473	0.7421	0.4017	0.4350	-0.1333	0.1122	0.0526	-	-
Resistencia insectario	.2035	.5456	-0.4280	.4824	-0.0842	-0.1192	0.1754	1			-0.2631	0.5368
Resistencia campo	0.4385	0.5385	-0.2087	0.7210	-0.0649	0.2087	0.4701	-	1		-0.4701	0.4280
Tolerancia	0.1351	0.1537	0.1351	0.1248	-0.0588	0.0650	0.2342	0.0526	0.0196	1	-0.1351	0.0629

Discusión

Este estudio identificó diferencias entre la resistencia y tolerancia entre las variedades nativas y comerciales de maíz frente al daño causado por el gusano cogollero. La variedad Olotillo fue la más resistente y Tablita fue más tolerante. Entre las variedades comerciales, el híbrido 302 resultó ser un híbrido resistente y tolerante. En particular, llama la atención Oaxaca ya que las plantas de dicho estado tuvieron los mayores niveles de resistencia y de tolerancia.

Las variedades de maíz están adaptadas a diferentes altitudes, que van desde el nivel del mar hasta los 3,900 msnm aproximadamente (Weatherwax, 1918; Tapia & De la Torre, 1998), donde se presentan condiciones edáficas, bióticas y climáticas diferentes con precipitaciones desde los 400 mm hasta los 3,000 mm anuales (Wellhausen *et al.*, 1951). Estas variedades son resultado de una larga, compleja y dinámica historia de domesticación que aún en la actualidad continúa, ya que los campesinos seleccionan y/o intercambian semillas continuamente, generación tras generación, para las siembras según sus necesidades y estrategias de producción (Ortega-Paczka, 2003). En este trabajo se encontró la presencia de una alta variación en los diferentes atributos medidos de las diferentes variedades de maíz nativas (altura, diámetro de tallo, dureza de la hoja y número de hojas de las plantas) lo cual se debe, en parte, a un reflejo de la adaptación de estas variedades a las diferentes regiones y condiciones ambientales presentes en el país la cual inició hace más de 6,000 años cuando comenzó la domesticación del maíz (Mangelsdorf, 1947; Benz, 2001; Doebley, 2004; Kato *et al.*, 2009).

En general, se conoce que durante la historia de domesticación, la defensa de las plantas ha disminuido (Baker, 1972; Rindos, 1990) y que existe la presencia de

compromisos debido a que los recursos se van a la producción de semillas o frutos y no a la defensa de la planta. Sin embargo, Tuccote *et al* (2014) plantean que este síndrome de domesticación no siempre se cumple del todo. Al evaluar veintinueve diferentes cultivos domesticados con sus ancestros, encontraron que los niveles de defensa disminuyen ante el herbívoro generalista gusano soldado (*Spodoptera exigua*), pero esto no sucede cuando el herbívoro generalista es el pulgón verde melocotonero (*Myzus persicae*) y que en la mayoría de estos eventos independientes de domesticación no hay diferencias en la resistencia para ninguno de los dos herbívoros generalistas, poniendo de esta manera en entredicho la presencia de conflictos en la defensa de las plantas domesticadas. En este trabajo se utilizó a un herbívoro generalista (*S. frugiperda*) que daña el cogollo (verticilo) de la planta y ocasiona altas pérdidas económicas en algunas regiones del país (SAGARPA, 2006), pero sería también importante considerar lo que sucede con un herbívoro especialista o uno que daña otras partes de la planta como las raíces del maíz por ejemplo. En este trabajo encontramos que las variedades comerciales, en algunos casos, son tan resistentes o tolerantes como las variedades nativas de maíz, por lo cual se cumple el mismo patrón encontrado por Tuccote *et al.* (2014).

El gusano cogollero es una plaga presente en el continente Americano (Andrews, 1980., Wiseman & Davis, 1979), en México se encuentra en regiones del trópico y el subtrópico (Ortega, 1987; SAGARPA, 2006) y puede ocasionar pérdidas del 30% al 60% del cultivo (Andrews, 1980; Hazlett, 2012). En el estado de Oaxaca se considera una plaga de importancia económica (INEGI, 1997) por lo que podría ejercer una fuerte presión de selección para los cultivos de maíz. En este estudio se encontró que la variedad Olotillo, del estado de Oaxaca, resultó ser la variedad nativa de maíz más

resistente ante el daño causado por el gusano cogollero bajo condiciones de insectario al ser comparada con el híbrido 507 (Fig. 7). Esta variedad nativa se desarrolla bajo condiciones edáficas limitantes, sobre todo en suelos someros, característica importante para su empleo en los sistemas de milpa y en zonas tropicales. Se cree que esta variedad tiene una ascendencia directa del teocintle (Hernández, 1987; Aragón, 2005; CONABIO, 2015), por lo cual, podría conservar aún características de resistencia de su progenitor ya que se ha reportado que los teocintles son reservorios de genes resistentes (Doebley, 2004). Se ha reportado que los tricomas son estructuras relacionadas a la resistencia de una planta (Valverde *et al.*, 2001; Moose *et al.*, 2004; Gassmann & Hare, 2005; Bellota *et al.*, 2013). Dentro de las variedades de Oaxaca Olotillo estuvo dentro de las variedades que tuvieron el mayor número de tricomas (110.88 ± 6.85) (Fig. 21) y en general, entre todas las variedades nativas tuvo el mayor número de tricomas. Al parecer, en las variedades nativas de maíz, este atributo es importante para resistir el daño por herbívoros, aunque, estos resultados deben tomarse con cautela debido a que otras variedades nativas también tuvieron un alto número de tricomas pero no resultaron ser variedades resistentes (Fig. 21). Por lo cual, sería conveniente medir otros mecanismos de resistencia, por ejemplo, la cantidad de metabolitos secundarios presentes en las hojas.

Durante el proceso de domesticación las variedades comerciales de maíz han disminuido sus niveles de tolerancia en comparación con su ancestro, el teocintle (*Zea parviglumis*) (Rosenthal & Welter, 1995). Uno de los atributos relacionados con la tolerancia de los teocintles es su arquitectura ya que estos tienen la capacidad de activar meristemas basales, atributo que tanto las variedades nativas y las variedades comerciales perdieron, ya que en estas últimas se seleccionó dominancia apical

(Rosenthal & Welter, 1995; Martienssen, 1997; Doebley *et al*, 1997; Wang, *et al*, 1999; Doebley, 2004). A pesar de que este atributo se perdió en las variedades nativas de maíz, éstas podrían estar tolerando el daño causado por los herbívoros mediante otros atributos relacionados a la tolerancia que se han seleccionado de manera inconsciente. Por ejemplo, las plantas podrían tolerar el daño por herbívoros almacenando recursos en la raíz antes del daño ó después de que daño ocurrió o, podrían aumentar la tasa fotosintética, redistribuir o absorber una mayor cantidad de recursos una vez de que fueron dañadas (Rosenthal & Kotanen, 1994; Strauss & Agrawal, 1999; Stowe *et al*, 2000). Los agricultores han seleccionado diferentes atributos de las plantas como: tener una mayor altura y un mayor número de hojas. (Rindos, 1984). En este trabajo se realizaron mediciones de la altura, diámetro de tallo, número de hojas expandidas, área de las hojas, clorofila y fotosíntesis, atributos correlacionados de manera directa o indirecta con los mecanismos de tolerancia de los maíces nativos. La variedad Tablita del estado de Oaxaca, fue la variedad que sobrecompensó el daño causado por el gusano cogollero (Fig. 10). Esta variedad tiene un origen complejo, ya que proviene de una convergencia de diferentes variedades algunas de ellas Cónico Norteño y Tabloncillo, estas últimas empleadas para obtener diferentes híbridos de altos rendimientos de semilla y resistencia a la sequía (CONABIO, 2015). En particular, esta variedad tuvo en promedio el mayor diámetro de tallo (36.58 ± 1.43 mm) y la mayor área promedio de hojas expandidas (5847.03 ± 435.85 cm²) en comparación con todas las variedades nativas utilizadas en este experimento. Al observar las correlaciones, únicamente de esta variedad y los diferentes atributos medidos (Tabla 16), se puede ver la presencia de una alta correlación entre la altura, el diámetro de tallo, el área

total, la clorofila y el número de hojas expandidas, atributos que al parecer para esta variedad son importantes para tolerar el daño.

De acuerdo con el análisis de Componentes Principales se forman dos grupos uno relacionado al vigor vegetativo y otro a la fisiología de la planta. Dentro del grupo vigor vegetativo se encuentran las variables de altura, área y el número de hojas expandidas atributos relacionados con la capacidad de tolerar de una planta, y de acuerdo a los resultados del Análisis Factorial también podríamos considerar el diámetro del tallo, atributo correlacionado con estas variables y su vez relacionado al vigor vegetativo de la planta. En particular, en relación al diámetro del tallo, podría haber una correlación entre este, la distribución y la absorción de los recursos almacenados en las raíces después del daño, ya que estos recursos podrían ir hacia las partes afectadas de la planta después de que el daño ocurre y de esta manera la planta podría tolerar el daño causado por los herbívoros. Por ejemplo, en *Solanum lycopersicum* se encontró que después de que las plantas fueron expuestas al daño del herbívoro especialista *Manduca sexta* tuvieron un incremento en el diámetro del tallo, debido al almacenamiento de carbono y proteínas en la parte basal del tallo que presentaron estas plantas, aunque dichos resultados deben tomarse con cautela debido a que no se encontraron cambios en la biomasa total (Korpita *et al.*, 2014). En este trabajo, no se realizaron estudios de las raíces de los maíces (*i.e.* registrar el peso fresco y seco de la raíz o el contenido de carbono o proteínas en el tallo) pero sería conveniente considerarlo en futuros trabajos como una variable más a medir. En cuanto al área foliar de hojas expandidas, el tener una mayor área foliar podría permitir tener un mayor incremento en la tasa fotosintética después del daño por herbívoros o el daño podría concentrarse sólo en algunas hojas de tal manera que la planta podría

amortiguar el daño con el resto de hojas expandidas que tiene. El análisis de funciones discriminantes también da soporte a pensar que el diámetro de tallo y el área foliar de las hojas expandidas son atributos importantes para tolerar el daño, ya que estas dos características aparecen dentro del grupo de las plantas que sobrecompensaron el daño. Atributos relacionados con el almacenamiento y la distribución de recursos que tiene la planta después del que daño ocurre son aspectos que hay que considerar ya que estos atributos indican que podrían estar relacionados con la capacidad que tienen una planta para tolerar el daño (Korpita *et al.*, 2014). También es recomendable tomar en cuenta lo que sucede con las mazorcas producidas por la planta ya que se ha reportado que éstas, al ser dañadas por el pájaro tordo soldado (*Agelaius phoeniceus* L.) tienden a tener un mayor número de semillas y peso al final de la cosecha logrando compensar de esta manera el daño (Dyer, 1975).

Durante la historia de la agricultura moderna, el hombre ha intentado controlar a los consumidores de los cultivos utilizando sólo uno de los mecanismos de defensa que las plantas expresan, la resistencia. Sin embargo, hoy se reconoce que las plantas activan una compleja respuesta defensiva que incluye otros atributos además de la resistencia. La tolerancia es un rasgo que integra una respuesta multivariada cuya meta es amortiguar el efecto del daño una vez que este ocurrió compensando la pérdida de tejido para reducir su efecto negativo en la producción de semillas (Fornoni, 2011). A pesar de que este mecanismo de defensa (tolerancia) tiene ventajas potenciales sobre la resistencia en el manejo de las plagas al no promover una respuesta evolutiva por parte del consumidor (Espinosa & Fornoni, 2006), su utilización en sistemas agrícolas no ha ocurrido todavía (Núñez-Farfán *et al.*, 2007). Debido a que en este estudio se encontró que algunas variedades nativas de maíz (o incluso algunos híbridos) pueden

tolerar el daño por herbívoros, sería importante considerar a la tolerancia como una herramienta estratégica en el control integral de las plagas de los cultivo del maíz y de esta manera no recurrir al uso excesivo de agroquímicos los cuales dañan el ambiente o al uso de tecnologías que son altamente costosas (Bianchi *et al.*, 2006).

En relación a los híbridos, podemos mencionar que dentro del mercado de semillas podemos encontrar diferentes variedades comerciales las cuales han sido mejoradas bajo diferentes técnicas de mejoramiento genético con el propósito de incrementar el rendimiento o ser resistentes a diferentes enfermedades (*i.e.* resistir la roya, el carbón de la espiga o el acame) y estos conservan características deseables de las diferentes variedades de las que provienen (*i.e.* Tuxpeño, Vandeño, Tepecintle, Zapalote y Celaya) (Espinosa *et al.*, 2008). En este trabajo, a pesar de que las variedades nativas son resistentes y tolerantes, también podemos encontrar híbridos que pueden resistir y tolerar el daño, como fue el caso del híbrido 302 (Fig. 8, 9 y 12). Este híbrido fue creado con el propósito de obtener una alta producción de granos, de forraje y resistencia a diferentes enfermedades en hojas, tallo y raíz (Ficha técnica semillas Berentsen). El alto número de tricomas de este híbrido podría explicar los altos niveles de resistencia que tuvo (Fig. 48) y el mayor diámetro de tallo podría explicar porque fue tolerante ante el daño del gusano cogollero (Fig. 36) pues, como se mencionó antes, este atributo podría estar relacionado con la capacidad de tolerar de una planta. Debido a que este híbrido fue creado por una empresa privada de semillas (Semillas Berentsen) no fue posible obtener información de las variedades nativas de las que proviene, pero sería importante conocerlas debido a que puede conservar atributos de resistencia de sus variedades progenitoras.

En este trabajo no se encontró una correlación entre la tolerancia y el número de semillas (Tabla 7) siendo que las plantas que toleran el daño producen una mayor cantidad de semillas (Simms & Triplet, 1994; Strauss & Agrawal, 1999). Cabe destacar que el maíz es una planta domesticada y las 59 razas de maíz han sido seleccionadas de manera artificial para diferentes fines por parte de los agricultores (Ortega-Paczka, 2003). En algunos casos se favorecen mazorcas por el color de las semillas o el sabor que tienen éstas para preparar diferentes alimentos, otras variedades se han seleccionado porque tienen una mayor altura y un mayor número de hojas, ya que éstas son utilizadas para forraje. La parte cultural también juega un papel importante dentro de la selección de los maíces por lo que, la selección natural y la selección artificial podrían estar operando en direcciones opuestas. Por ejemplo se han observado cultivos de plantas domesticadas que producen un número reducido de semillas o incluso hay plantas que no son capaces de sobrevivir bajo condiciones naturales (Purugganan & Fuller, 2011). Hay diferentes variedades de amaranto (*Amaranthus* L ssp.), algunas de estas variedades han sido seleccionadas por sus semillas y otras por sus partes vegetativas. Las plantas empleadas para producir semillas producen una menor cantidad de partes vegetativas y por el contrario, las variedades que se han seleccionado por sus partes vegetativas tienden a producir un número reducido de granos (Mapes, *et al* 1996).

Finalmente, como se mencionó al comienzo de la discusión, llaman la atención las variedades del estado de Oaxaca ya que éstas tuvieron los mayores niveles de resistencia (Olotillo) y de tolerancia (Tablita). Aragón (2005) reporta, que en este estado, 90% de la superficie sembrada con maíz se realiza con variedades criollas seleccionadas por los agricultores y el resto con variedades comerciales. Los

agricultores siembran diferentes variedades locales de maíz, de ciclo corto (como Zapalote chico) o largo (como Olotón) y aún se emplean diferentes técnicas tradicionales de cultivo como la roza-tumba-quema, el empleo de abonos orgánicos y el sistema de milpa. Este estado presenta un gradiente altitudinal amplio (del nivel del mar hasta los 3,750 msnm) por lo que hay diferentes ambientes, y se presentan diferentes condiciones bióticas y abióticas, dando como resultando un estado geológicamente complejo. Cabe mencionar que en Oaxaca se puede encontrar el 60% de todas los maíces reportados para México, lo cual habla del gran reservorio genético concentrado en este estado y además se pueden encontrar poblaciones de teocintle que se cruzan con las diferentes variedades de maíz por lo que hay introgresión de genes relacionados a la resistencia. Oaxaca tiene más de 16 grupos indígenas a lo largo de diferentes regiones, dato relevante, ya que son estos diferentes grupos los que han domesticado y resguardado al maíz (Aragón, 2005; Boege, 2008). Todas estas características pueden explicarnos, en parte, porqué Oaxaca representa un reservorio genético de maíces.

Conclusiones

- Se encontraron diferencias entre las variedades nativas en la expresión de los mecanismos defensivos (resistencia y tolerancia). La variedad Olotillo resultó ser la variedad nativa de maíz más resistente ante el daño causado por el gusano cogollero, mientras que Tablita fue la más tolerante.
- Dentro de las variedades comerciales sobresale el híbrido 302 ya que este fue resistente y también tolerante ante el daño causado por el gusano cogollero.
- El diámetro de tallo y el área foliar de las hojas expandidas son atributos importantes para tolerar el daño causado por el gusano cogollero y al parecer el número de tricomas es un atributo importante para resistir el daño aunque, estos resultados deben tomarse con cautela.
- Sobresale la presencia de una alta variación en los atributos de altura, diámetro de tallo, dureza de la hoja y número de hojas de las plantas, lo cual es reflejo del complejo proceso de domesticación y de selección que han tenido a lo largo de los años las variedades de maíz por parte de los agricultores.
- Dentro de los resultados llama la atención el estado de Oaxaca ya que éste estado tuvo los mayores niveles de resistencia en campo y aquí podemos encontrar a las variedades que resistieron y sobrecompensaron el daño causado por el gusano cogollero.
- Finalmente, sería conveniente considerar a la tolerancia como una herramienta estratégica en el control integral de las plagas dentro de los cultivos de maíz ya que la tolerancia no promueve una respuesta evolutiva por parte del herbívoro.

Literatura citada

Altieri M.A. & Nicholls C.I. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. Icaria Editorial, S.A. Arc de Sant Critófol, Barcelona, España. 27-108 p.

Álvarez-Buylla, E., Carreón G.A. & San Vicente, T.A. 2011. Haciendo Milpa. La protección de las semillas y la agricultura campesina. Universidad Nacional Autónoma de México y Semillas de Vida, A.C. México. 5-21 p.

Andrews, K. 1980. The whorlworm, *Spodoptera frugiperda*, in central America and neighboring areas. *Florida Entomologist* **63**, 456-467.

Aragón, F. 2005. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Proyecto Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO CS-002).

Baker, H.G. 1972. Human influences on plant evolución. *Economic Botany* **26**, 32-43.

Bellota, E., Medina, R. & Bernal, J. 2013. Physical leaf defenses - altered by *Zea* life history evolution, domestication, and breeding- mediate oviposition preference of a specialist leafhopper. *Entomologia Experimental et Applicata* 1-11.

Benz, B. 2001. Archaeological evidence of teocintle domestication from Guila Naquitz, Oaxaca. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **98**, 2104-2106.

Bianchi, F; Booij, C. & Tschardtke. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London* **273**, 1715-1727.

Boege, E. 2008. El patrimonio bicultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación *in situ* de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México. 81- 229 p.

Crawley, M. 2007. *The R book*. John Wiley Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, UK. 731-747.

Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). 2015. Razas de maíz de México. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/>

Dawkins, R. & Krebs, J.R. 1979. Arms races between and within species. *Proceedings of The Royal Society of London* **205**, 489-511.

Determinación del nivel riesgo fitosanitario para los cultivos de importancia económica en México. 2006-2012. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). México, D.F. 14 p.

- Doebley, J. 2004. The genetics of maize evolution. *Annual review of genetics* **38**: 37-59.
- Doebley, J., Stec, A. & Hubbard, L. 1997. The evolution of apical dominance in maize. *Nature* **386**, 485-488.
- Dyer, M.I. 1975. The Effects of red-winged blackbirds (*Agelaius phoeniceus* L.) on biomass production of corn grains (*Zea mays* L.). *Journal of Applied Ecology* **12**, 719-726.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Turrent, A., Gómez N., Sierra, M., Palafox, A., Caballero, F., Valdivia, R. & Rodríguez F. 2008. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. En: Revista Ciencias **92-93**, 118-125 p.
- Espinosa, G.E. & Fornoni, J. 2006. Host tolerance does not impose selection on natural enemies. *New Phytologist* **170**, 609-614.
- Estrada, O., Cambero, J., Robles A., Rios, C., Carvajal, C., Isiordia, N. & Ruíz, E. 2013. Parasitoids and entomopathogens of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Nayarit, Mexico. *Southwestern Entomologist* **38**, 339-344.
- Everson, R. & Gollin, D. 2003. Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960. *Science* **300**, 758-762.
- Ficha técnica Semillas Berentsen. 2014. Recuperado de www.semillasberentsen.com.mx
- Fuller, D. & Allaby, R. 2009. Seed dispersal and crop domestication: shattering, germination and seasonality in evolution under cultivation. *Annual Plant Review* **38**, 238-295.
- Gassmann, A. & Hare, D. 2005. Indirect cost of a defensive trait: variation in trichome type affects the natural enemies of herbivorous insects on *Datura wrightii*. *Oecologia* **144**, 62-71.
- Glaeser, B. 2011. The green Revolution Revisited: Critique and Alternatives. Routledge Library Editions Development, USA. 2-7 p.
- Guevara, P; Pérez, A; Zúñiga, B. & Snook, M. 2000. Flavones in corn silks & resistance to insect attacks. *International Journal of Experimental Botany* **69**, 151-156.
- Hazlett, D. 2012. The Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) A Review FB Peairs and JL Saunders. *Revista Ceiba*, **23**, 93-113.
- Heiser, C.B. 1988. Aspects of unconscious selection and the evolution of domesticated plants. *Euphytica* **37**, 77-81.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1987. Xolocotzia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 633-732 p.
- Herrera, C; Castillo, F; Sánchez, G; Hernández, C; Ortega, P. & Goodman, M. 2004.

- Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* **38**, 191-206.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática INEGI. 1997. El maíz en el estado de Oaxaca. México. 14-16 p.
- Juvik, J.A., Stevens, M.A. & Rick, C.M. 1982. Survey of the genus *Lycopersicon* for variability in a tomatine content. *HortScience* **17**, 764-766.
- Karban R. & Baldwin, I. 1997. Induced responses to herbivory. Chicago Ill. University of Chicago Press. USA. 1-11 p.
- 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. 14-99 p.
- Korpita, T., Gómez, S. & Orians, C. 2014. Cues from a specialist herbivore increase tolerance to defoliation in tomato. *Functional Ecology* **28**, 395-401.
- López, Torres. 1995. Fitomejoramiento. Editorial Trillas S.A. de C.V. México, D.F. 93-116.
- Luginbill, P. 1928. The fall army worm. *Technical Bulletin* N.34, Department of agriculture, USA.
- Mangelsdorf, P. 1947. The origin and evolution of maize. En Heterosis I. Academic Press INC. New York. 161-206 p.
- Mapes, C; Caballero, J; Espatia, E. & Bye, R. 1996. Morphophysiological variation in some Mexican species of vegetable *Amaranthus*: evolutionary tendencies under domestication. *Genetics Resources and Crop Evolution* **43**, 283-290.
- Martienssen, R. 1997. The origin of maize branches out. *Nature* **386**, 443-445.
- Márquez, S.F. 2009. De las variedades criollas de maíz a los híbridos transgénicos. II: La hibridación. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo, Colegio de Postgraduados* **6**, 161- 176.
- Méndez, C. & Rondón, M. 2012. Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista Colombiana de Psiquiatría* **41**, 197-207.
- Meyer, R.S; Duval, A.E. & Jensen, R.H. 2012. Patterns and processes in crop domestication: an historical review and qualitative analysis of 203 global food crops. *New Phytologist* **196**, 29-48.
- Moose, S., Lauter N. & Carlson, S. 2004. The maize macrohairless1 locus specifically promotes leaf blade macrohair initiation and response to factors regulating leaf identity. *Genetics* **166**, 1451-1461.
- Núñez-Farfán, J., Fornoni, J. & Valverde, P.L. 2007. The Evolution of resistance and tolerance to herbivores. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. **38**, 541-566.

- Ortega, C. 1987. Insectos nocivos del maíz, una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo (CIMMYT). México, D.F. 29-30 p.
- Ortega-Paczka, R. 2003. La diversidad del maíz en México. En Esteva, C. y Marielle, C. Editores, Sin maíz no hay país. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México. 123-154 p.
- Perfecto, I; Vandermeer, J. & Wright, A. 2009. Nature's Matriz linking agriculture, conservation and food sovereignty. Earthscan, UK y USA. 47-59 p.
- Pollew, A. Oliveira, M. & Matthews, 1986. The role of inhibition damage in determining the vigour of white and coloured seed lots of dwarf French beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany* **37**, 716-722.
- Purugganan M.D. & Fuller D.Q. 2011. Archaeological data reveal slow rates of evolution during plant domestication. *Evolution* **65**: 171-183.
- R Development Core Team (2009). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Rendón, A. 2011. Diversidad y distribución altitudinal de maíces nativos en la región de los Loxicha, Sierra Madre del Sur Oaxaca. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FZ003. México D.F.
- Rindos, D. 1984. The origins of agriculture: An evolutionary perspective. Academic Press, San Diego, CA. 360 p.
- Ríos, V; Gallegos, M; Cambero, C; Cerna,E; Del Rincón C; Valenzuela, G. 2011. Natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Coahuila, México. *Florida Entomologist* **94**: 723-726.
- Rojas, J; Virgen, A. & Malo, E. 2004. Seasonal and nocturnal flight activity of *Spodoptera frugiperda* males (Lepidoptera: Noctuidae) monitored by pheromone traps in the coast of Chiapas, México. *Florida Entomological Society* **87**, 496-503.
- Rosenthal, J.P. & Dirzo, R.1997. Effects of life history, domestication and agronomic selection on plant defence against insects: Evidence from maizes and wild relatives. *Evolutionary Ecology* **11**, 337-355.
- Rosenthal, J.P. & Kotanen, P.M. 1994. Terrestrial plant tolerance to herbivory. *Trends in Ecology and Evolution* **9**, 145-148.
- Rosental, J.P. & Welter, S.C. 1995. Tolerance to herbivory by a stem-boring caterpillar in architecturally distinct maizes and wild relatives. *Oecologia* **102**, 146-155.
- SAS Institute Inc. (1999). JMP Version 7. SAS Publishing. North Carolina, USA.
- SAS Institute Inc. (1999). SAS/STAT software: changes and enhancements through release 8.00. Publishing. North Carolina, USA.

- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 2015. Producción agropecuaria y pesquera. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/>
- Smith, H. & McSorley, R. 2000. Intercropping and Pest management: A Review of mayor concepts. *American Entomologist* **46**, 154-161.
- Simms, E.L. & Triplett, J. 1994. Cost and benefits of plant responses to disease: resistance and tolerance. *Evolution* **48**, 1973-1985.
- Soto J. 2008. Caracterización molecular de aislamientos de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* y evaluación de su toxicidad sobre gusano cogollero del maíz *Sodoptera frugiperda* (J.E.Smith). Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente. IPN. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa. 87:22-30 pp.
- Strauss, S.Y. & Agrawal, A.A. 1999. The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Trends in Ecology and Evolution*, **14**, 179-185.
- Stowe, K., Marquis, R., Hochwender, C. & Simms, E. 2000. The evolutionary ecology of tolerance to consumer damage. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* **31**, 565–595.
- Taba, S. 1995. Maize genetic resource. Maize program special report: Latin America maiz germoplasm regeneration and conservation. México, CYMMYT.
- Tapia, M. & De la Torre, A. 1998. Women Farmers and Andean Seeds. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 13 p.
- Valverde P. L., Fornoni J. and Núñez-Farfán J. 2001. Defensive role of leaf trichomes in resistance to herbivorous insects in *Datura stramonium*. *Journal Evolutionary Biology* **14**, 424-432.
- Wang, L.R., Stec, A., Hey, J., Lukens, L. & Doebley, J. 1999. The limits of selection during maize domestication. *Nature* **398**, 236-239.
- Weatherwax, P. 1918. The evolution of maize. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* **45**, 309-342.
- Wiseman, B. & Davis, F. 1979. Plant Resistance to the Fall Armyworm. *The Florida Entomologist* **62**, 123-130.
- Zohary, D., Hopf, M. & Weiss, E. 1969. Domestication of plants in the old world. Oxford University Press, UK. 114-121 p.

ANEXO 1. TABLAS DE PROMEDIOS Y GRÁFICAS

Tabla 8. Promedios por variedades nativas y comerciales de maíz de altura, diámetro de tallo, dureza, número de hojas expandidas, área total de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis, número de tricomas, niveles de resistencia constitutiva insectario, resistencia constitutiva campo y niveles de tolerancia. El orden de las variedades en las gráficas es el siguiente, Michoacán: Cónico y Tabloncillo. Oaxaca: Bolita, Chaparro, Olotillo, Tepecintle y Tablita. Tlaxcala: Ancho, Complejo Cónico-Chalqueño, Chalqueño y Cacahuacintle. Sinaloa: Chapalote, Elotero Sinaloa, Tabloncillo Perla y Tabloncillo Culiacán. Chiapas: Vandeño y Comiteco. Variedades comerciales: Híbrido 507 o Híbrido 302.

Tabla 8.

Atributos								
Estado de procedencia	Variedad	Altura (cm)	Diámetro tallo (mm)	Dureza (g/cm ²)	Área total de hojas expandidas (cm ²)	Clorofila (ICC)	Fotosíntesis (μmol m ² s ⁻¹)	Número de hojas expandidas
Michoacán	Cónico	180.47 ± 8.90	34.81 ± 1.40	85.78 ± 12.34	4680.84 ± 308.63	54.46 ± 2.17	15.75 ± 1.63	9 ± 0.29
	Tabloncillo	134.82 ± 10.56	28.97 ± 3.96	61.25 ± 10.26	2640.55 ± 207.62	39.96 ± 2.45	17.27 ± 1.77	7.45 ± 0.25
Oaxaca	Bolita	101.55 ± 7.60	32.05 ± 1.19	46.6 ± 7.57	2484.55 ± 213.12	48.29 ± 2.55	13.94 ± 2.19	7.15 ± 0.31
	Chaparro	58.95 ± 6.82	27.92 ± 1.98	43 ± 4.92	1990.44 ± 292.82	26.30 ± 4.20	9.78 ± 1.94	5.8 ± 0.40
	Olotillo	127.69 ± 10.79	34.5 ± 1.82	50.55 ± 5.68	5296.64 ± 591.78	16.24 ± 2.40	13.68 ± 2.04	7.16 ± 0.48
	Tepecintle	136.30 ± 8.68	33.17 ± 1.69	43.33 ± 6.97	5426.88 ± 450.76	22.32 ± 2.54	10.32 ± 0.92	7.94 ± 0.42
	Tablita	140.69 ± 9.08	36.58 ± 1.43	51.66 ± 5.82	5847.03 ± 435.85	19.78 ± 2.26	10.04 ± 1.14	7.61 ± 0.43
Tlaxcala	Ancho	127.87 ± 11.71	32.07 ± 1.54	59 ± 8.16	3363.28 ± 284.97	39.22 ± 2.09	14.72 ± 1.98	8.3 ± 0.39
	Complejo cónico-chalqueño	154.14 ± 8.11	29.93 ± 0.72	92.94 ± 9.95	4002.12 ± 241.41	44.49 ± 2.89	17.65 ± 1.97	9.29 ± 0.35
	Chalqueño	140.63 ± 7.67	31.97 ± 0.93	72.63 ± 8.81	4162.42 ± 289.76	46.57 ± 2.31	14.72 ± 1.85	9.52 ± 0.36
	Cacahuacintle	125.20 ± 5.9	27.51 ± 1.09	80.88 ± 12.07	2739.09 ± 133.94	46.56 ± 2.23	15.02 ± 1.62	8.17 ± 0.27
Sinaloa	Chapalote	37.57 ± 5.01	22.53 ± 1.63	56.75 ± 11.17	942.53 ± 136.10	17.28 ± 1.64	7.24 ± 1.25	5.3 ± 0.19
	Elotero Sinaloa	72.21 ± 5.91	31.11 ± 1.93	43.84 ± 4.52	1791.36 ± 210.64	29.15 ± 2.29	8.78 ± 1.35	5.89 ± 0.27
	Tabloncillo Perla	52.41 ± 6.19	27.39 ± 2.05	52.22 ± 10.41	1489.46 ± 189.26	25.47 ± 1.81	8.84 ± 1.54	5.66 ± 0.32
	Tabloncillo Culiacán	54.17 ± 6.69	26.66 ± 2.03	51.25 ± 6.77	1637.74 ± 258.56	23.04 ± 1.94	10.43 ± 1.80	6 ± 0.36
Chiapas	Vandeño	140.17 ± 5.53	36.56 ± 1.44	45.75 ± 6.83	4564.67 ± 219.13	39.41 ± 2.28	11.83 ± 1.15	9.05 ± 0.29
	Comiteco	152.25 ± 9.79	35.99 ± 1.67	37 ± 5.64	4364.08 ± 352.88	42.61 ± 1.87	9.61 ± 1.23	9.6 ± 0.44
Variedades comerciales	H-507	67.91 ± 11.17	28.75 ± 1.78	45.58 ± 8.11	1988.35 ± 381.04	25.49 ± 2.59	9.68 ± 1.20	6.11 ± 0.45
	H-302	85.27 ± 5.98	38.83 ± 1.38	43.25 ± 4.88	3473.64 ± 266.92	35.81 ± 1.81	13.04 ± 1.55	7.6 ± 0.31
Promedio general de variedades nativas		114.16 ± 3.03	31.20 ± 0.48	57.09 ± 2.19	3369.63 ± 110.00	34.34 ± 0.87	12.33 ± 0.42	7.59 ± 0.11
Promedio general de variedades comerciales		77.29 ± 6.14	34.20 ± 1.37	44.32 ± 4.50	2791 ± 255.33	31.07 ± 1.74	11.50 ± 1.02	6.91 ± 0.29

Continuación tabla 8.

Atributos							
Estado de procedencia	Variedad	Número semillas	Peso seco semillas (g)	Número tricomas	Resistencia insectario	Resistencia campo	Tolerancia
Michoacán	Cónico	415.81 ± 50.72	76.43 ± 14.72	94.05 ± 7.12	0.5387 ± 0.03	0.7329 ± 0.04	0.5613 ± 0.08
	Tabloncillo	244.85 ± 26.43	60.09 ± 9.90	92.05 ± 5.58	0.5366 ± 0.02	0.7048 ± 0.03	0.8103 ± 0.11
Oaxaca	Bolita	296.15 ± 50.46	57.10 ± 10.63	94.9 ± 7.34	0.5243 ± 0.03	0.7086 ± 0.03	0.7453 ± 0.16
	Chaparro	186.58 ± 39.96	19.15 ± 5.63	92.86 ± 7.93	0.5747 ± 0.05	0.7660 ± 0.04	0.5218 ± 0.18
	Olotillo	64.8 ± 26.18	9.1 ± 4.1	110.88 ± 6.85	0.6768 ± 0.04	0.8208 ± 0.01	-
	Tepecintle	81.81 ± 23.14	9.12 ± 2.51	122.11 ± 6.77	0.5472 ± 0.04	0.8238 ± 0.03	0.3535 ± 0.11
	Tablita	75.57 ± 25.22	5.82 ± 1.74	103.72 ± 5.95	0.5815 ± 0.05	0.7746 ± 0.01	2.1044 ± 0.89
Tlaxcala	Ancho	162.27 ± 20.42	51.28 ± 8.38	82.9 ± 4.91	0.5076 ± 0.05	0.6893 ± 0.04	0.6646 ± 0.12
	Complejo cónico-chalqueño	303.75 ± 42.94	50.79 ± 9.82	114.47 ± 7.68	0.3951 ± 0.4	0.7814 ± 0.01	1.0115 ± 0.21
	Chalqueño	292.37 ± 48.94	50.7 ± 9.15	107.52 ± 6.44	0.5330 ± 0.04	0.7651 ± 0.02	1.3794 ± 0.35
	Cacahuacintle	232 ± 31.07	44.71 ± 6.73	93.29 ± 4.71	0.6132 ± 0.03	0.7810 ± 0.03	0.7377 ± 0.09
Sinaloa	Chapalote	131.16 ± 27.63	16.00 ± 2.59	72.35 ± 6.61	0.5177 ± 0.04	0.6815 ± 0.06	1.3560 ± 0.68
	Elotero Sinaloa	153.6 ± 20.35	24.52 ± 4.16	83.78 ± 6.54	0.5802 ± 0.03	0.6275 ± 0.04	0.6350 ± 0.13
	Tabloncillo Perla	111.15 ± 18.84	22.97 ± 4.21	81.05 ± 6.18	0.5290 ± 0.05	0.7150 ± 0.04	0.6252 ± 0.20
	Tabloncillo Culiacán	144.55 ± 21.64	20.18 ± 2.83	76.6 ± 7.14	0.5237 ± 0.04	0.6834 ± 0.04	1.4500 ± 0.27
Chiapas	Vandeño	328.1 ± 53.07	41.42 ± 9.45	82.75 ± 4.13	0.5750 ± 0.04	0.7957 ± 0.02	1.3604 ± 0.32
	Comiteco	285.18 ± 41.75	58.82 ± 10.64	73.25 ± 4.71	0.6237 ± 0.04	0.7690 ± 0.02	1.0237 ± 0.17
Variedades comerciales	H-507	324.41 ± 74.07	27.16 ± 8.21	77 ± 6.34	0.4893 ± 0.05	0.7665 ± 0.03	0.6517 ± 0.24
	H-302	464.16 ± 39.52	52.56 ± 6.42	97.15 ± 4.90	0.6169 ± 0.03	0.7830 ± 0.03	1.1194 ± 0.13
Promedio general de variedades nativas		220.56 ± 10.84	39.80 ± 2.42	9.53 ± 0.31	0.5514 ± 0.01	0.7401 ± 0.009	0.9303 ± 0.069
Promedio general de variedades comerciales		396.28 ± 42.42	40.22 ± 5.54	22.54 ± 0.08	0.5583 ± 0.03	0.7751 ± 0.02	0.8856 ± 0.14

Tabla 9. Promedios por estados de las variedades nativas y comerciales de maíz de la altura, diámetro de tallo, dureza, número de hojas expandidas, área total de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis, número de tricomas, niveles de resistencia constitutiva insectario, resistencia constitutiva campo y niveles de tolerancia.

Atributos							
Variedad	Altura (cm)	Diámetro tallo (mm)	Dureza (g/cm ²)	Área total de hojas expandidas (cm ²)	Clorofila (ICC)	Fotosíntesis (μmol m ² s ⁻¹)	Número de hojas expandidas
Michoacán	157.06 ± 7.78	31.81 ± 2.16	73.20 ± 8.13	3634.54 ± 245.54	47.03 ± 2.00	16.53 ± 1.19	8.20 ± 0.22
Oaxaca	114.60 ± 4.91	32.99 ± 0.76	47.15 ± 2.84	4245.14 ± 250.69	27.08 ± 1.75	11.67 ± 0.78	7.17 ± 0.19
Tlaxcala	136.69 ± 4.55	30.48 ± 0.60	75.54 ± 4.96	3574.69 ± 139.81	44.07 ± 1.22	15.47 ± 0.93	8.82 ± 0.18
Sinaloa	53.90 ± 3.25	26.86 ± 1.00	51.07 ± 4.27	1460.41 ± 106.73	23.62 ± 1.07	8.82 ± 0.75	5.71 ± 0.14
Chiapas	146.21 ± 5.63	36.28 ± 1.09	41.37 ± 4.43	4464.38 ± 205.64	41.01 ± 1.48	10.72 ± 0.85	9.32 ± 0.26
Variedades comerciales	77.29 ± 6.14	34.20 ± 1.37	43.32 ± 4.50	2791.21 ± 255.33	31.07 ± 1.74	11.50 ± 1.02	6.91 ± 0.29

Continuación tabla 9.

Atributos						
Variedad	Número semillas	Peso seco semillas (g)	Número tricomas	Resistencia insectario	Resistencia campo	Tolerancia
Michoacán	262.15 ± 28.56	62.17 ± 8.38	93.02 ± 4.44	0.5376 ± 0.02	0.7188 ± 0.02	0.6924 ± 0.07
Oaxaca	149.65 ± 28.96	16.87 ± 3.32	105.07 ± 3.25	0.5798 ± 0.02	0.7775 ± 0.01	0.8059 ± 0.18
Tlaxcala	237.36 ± 31.25	42.52 ± 4.09	99.08 ± 3.28	0.5126 ± 0.02	0.7508 ± 0.01	0.9441 ± 0.11
Sinaloa	137.25 ± 18.80	15.86 ± 1.68	78.31 ± 3.30	0.5373 ± 0.02	0.6748 ± 0.02	1.0117 ± 0.15
Chiapas	335.52 ± 52.32	44.24 ± 6.81	78 ± 3.18	0.5994 ± 0.03	0.7824 ± 0.01	1.2009 ± 0.1880
Variedades comerciales	374.7 ± 61.83	38.05 ± 5.45	87.89 ± 4.23	0.5583 ± 0.03	0.7751 ± 0.02	0.8856 ± 0.14

Gráficas

Gráficas de altura, diámetro de tallo, dureza, área total de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis, número de hojas expandidas, número de tricomas, resistencia constitutiva condiciones insectario y tolerancia promedio de las diferentes variedades nativas y comerciales de maíz. Nota: letras diferentes representa diferencias significativas según Tukey-Kramer.

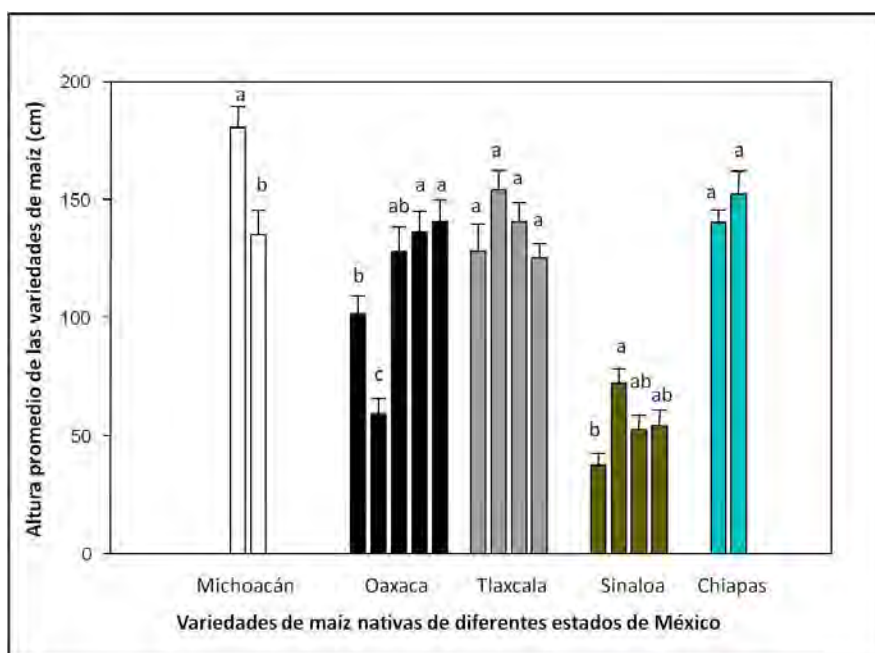


Figura 14. Altura promedio de las diferentes variedades nativas de maíz de cada estado.

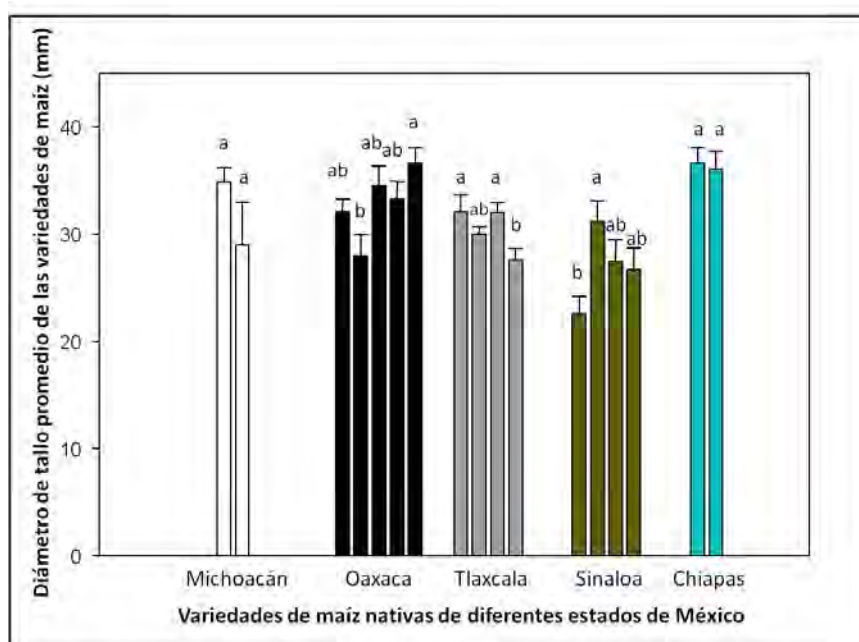


Figura 15. Promedio del diámetro del tallo de las diferentes variedades nativas de maíz de cada estado.

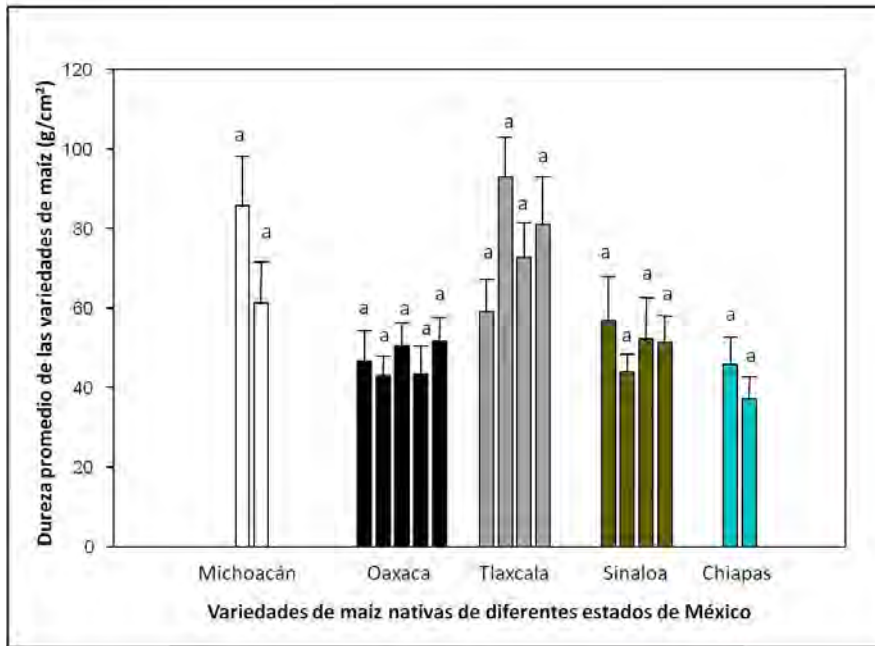


Figura 16. Dureza promedio de las diferentes variedades nativas de maíz de cada estado.

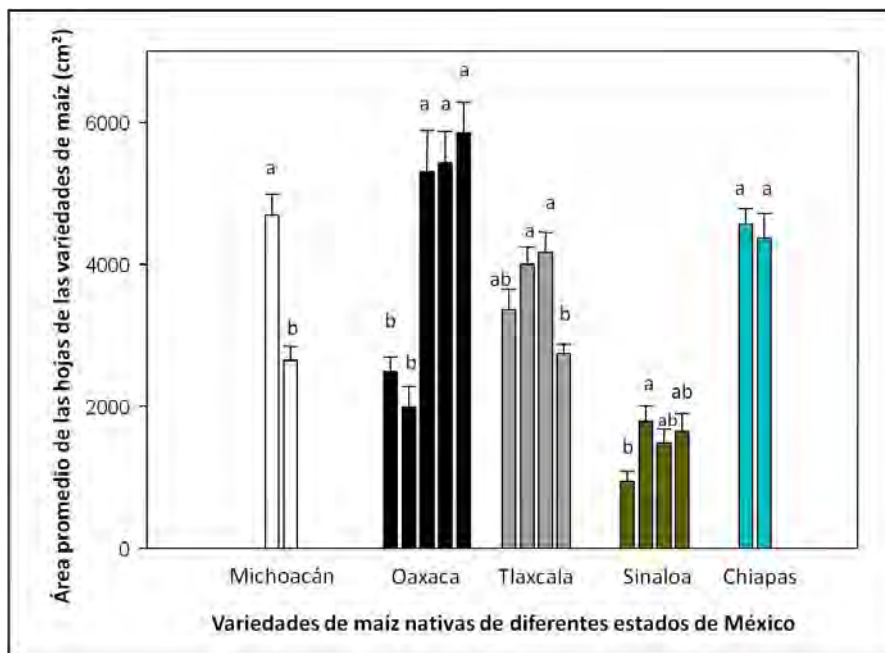


Figura 17. Área promedio de hojas expandidas de las diferentes variedades nativas de maíz de cada estado.

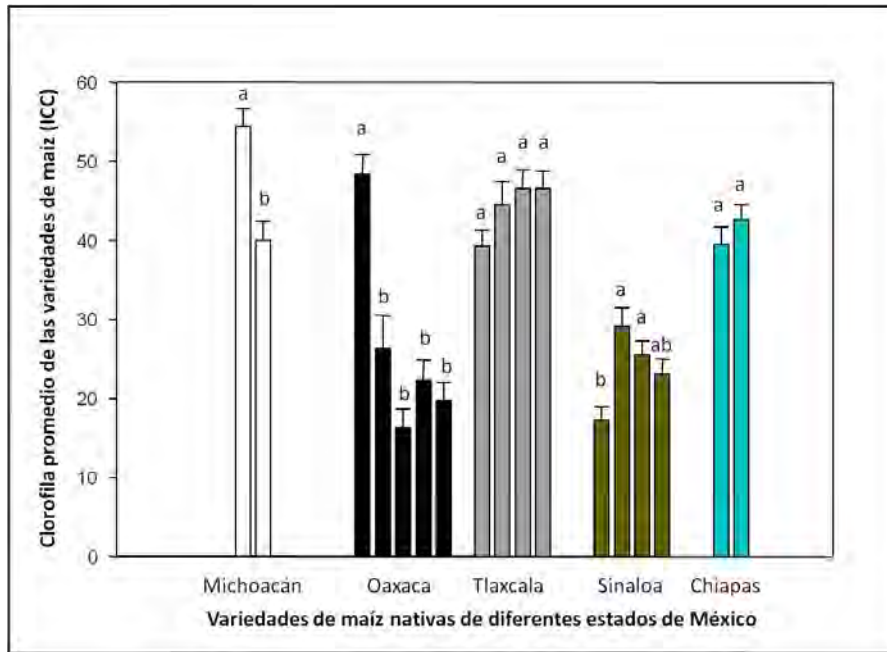


Figura 18. Clorofila promedio de las diferentes variedades nativas de maíz de cada estado.

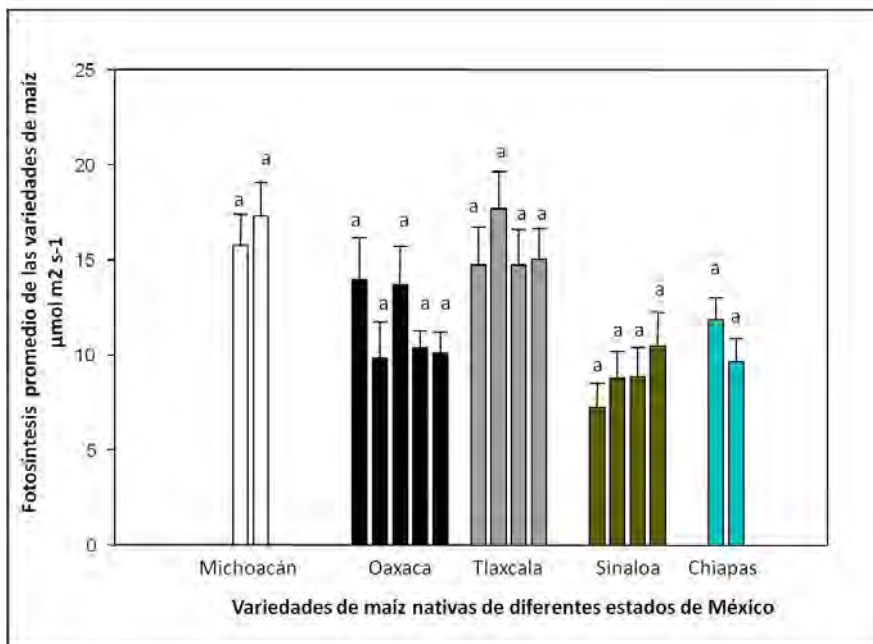


Figura 19. Fotosíntesis promedio de las diferentes variedades nativas y comerciales de maíz de cada estado.

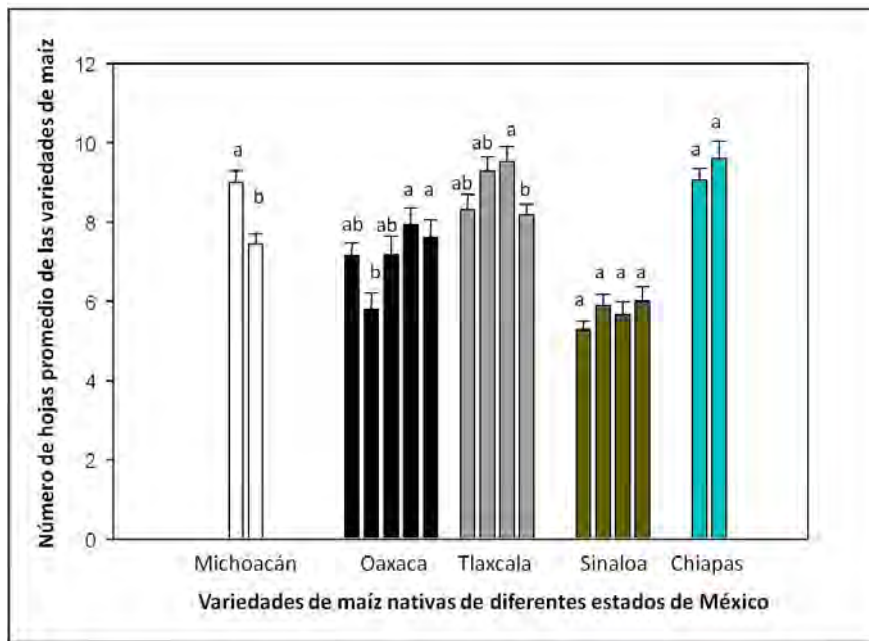


Figura 20. Promedio del número de hojas expandidas de las diferentes variedades nativas de cada estado.

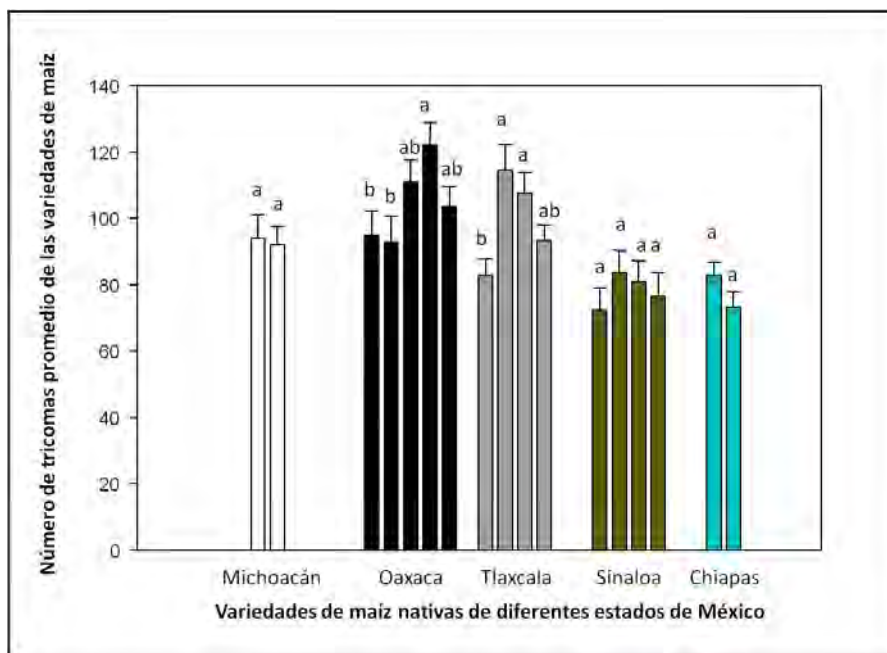


Figura 21. Número de tricomas promedio de las diferentes variedades nativas de maíz de cada estado.

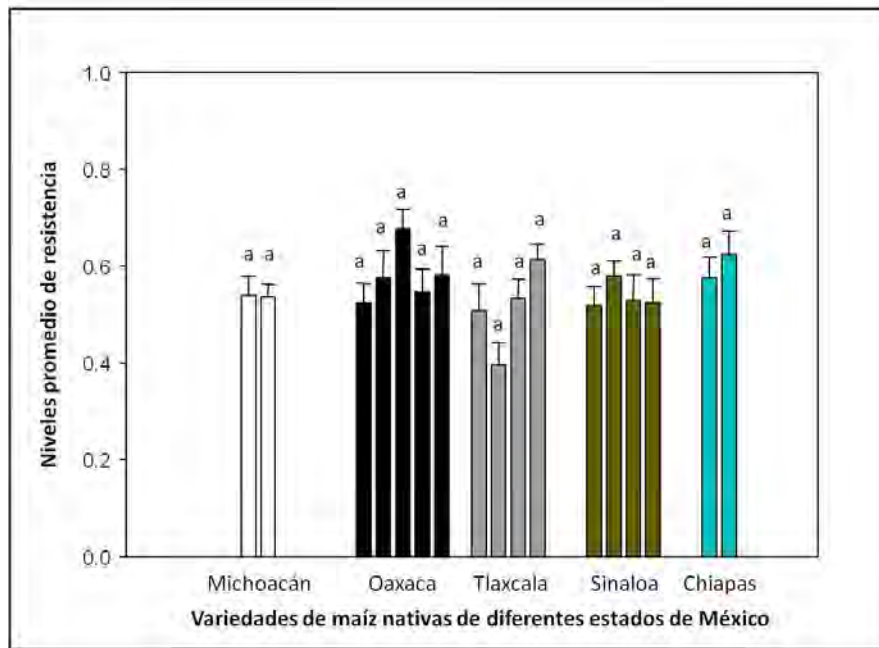


Figura 22. Niveles de resistencia promedio de las diferentes variedades nativas de maíz bajo condiciones de insectario de cada estado.

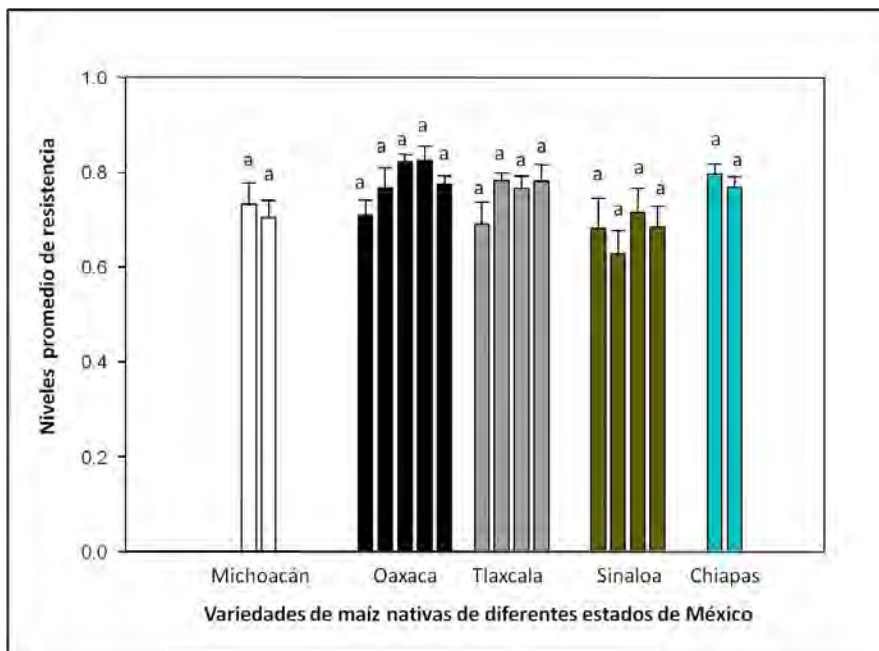


Figura 23. Niveles de resistencia constitutiva promedio de las diferentes variedades nativas de maíz bajo condiciones de campo de cada estado.

Graficas de los diferentes estados de las variedades nativas de maíz

Gráficas de altura, diámetro de tallo, dureza, área total de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis, número de hojas expandidas, número de tricomas, resistencia constitutiva condiciones insectario y tolerancia promedio de las diferentes variedades nativas con relación al estado al que pertenecen. Nota: letras diferentes representa diferencias significativas según Tukey-Kramer.

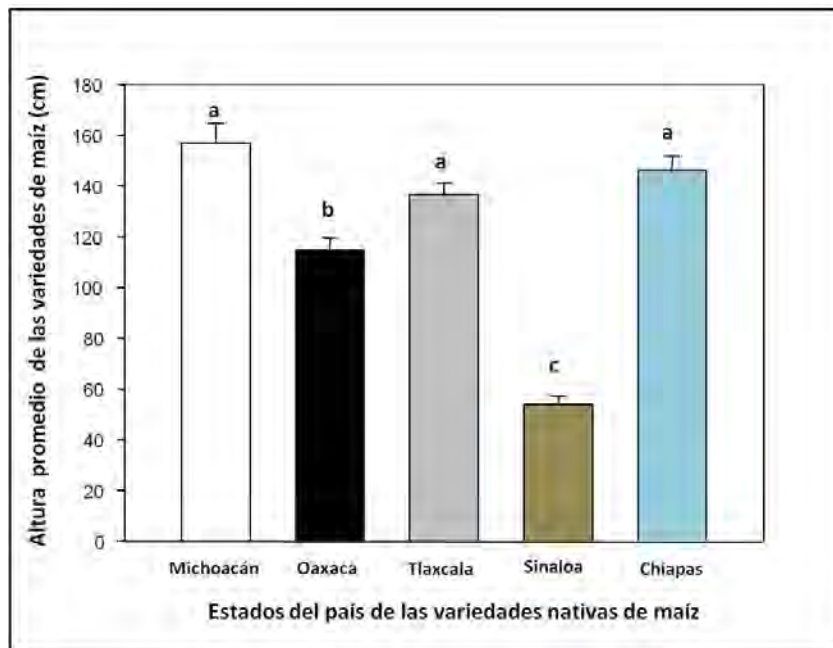


Figura 24. Altura promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

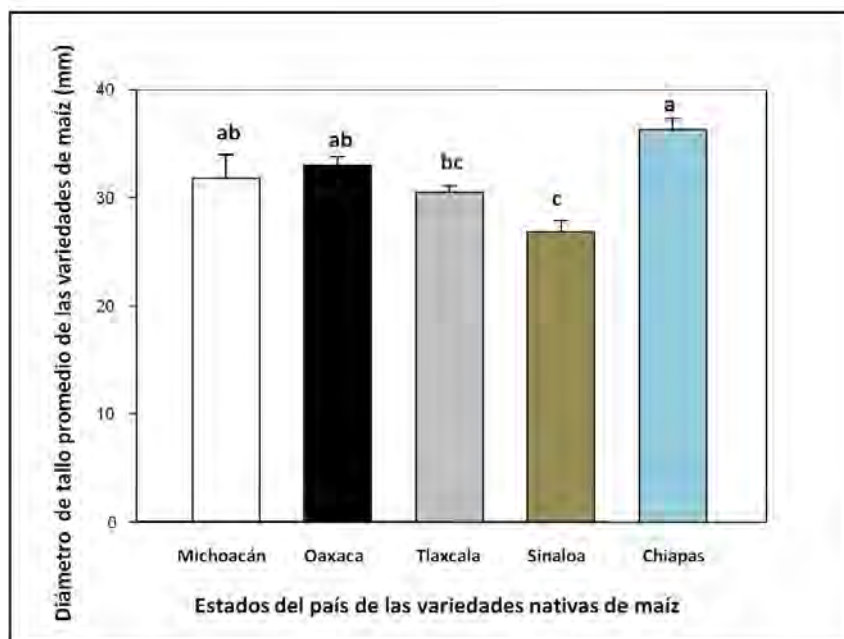


Figura 25. Diámetro de tallo promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

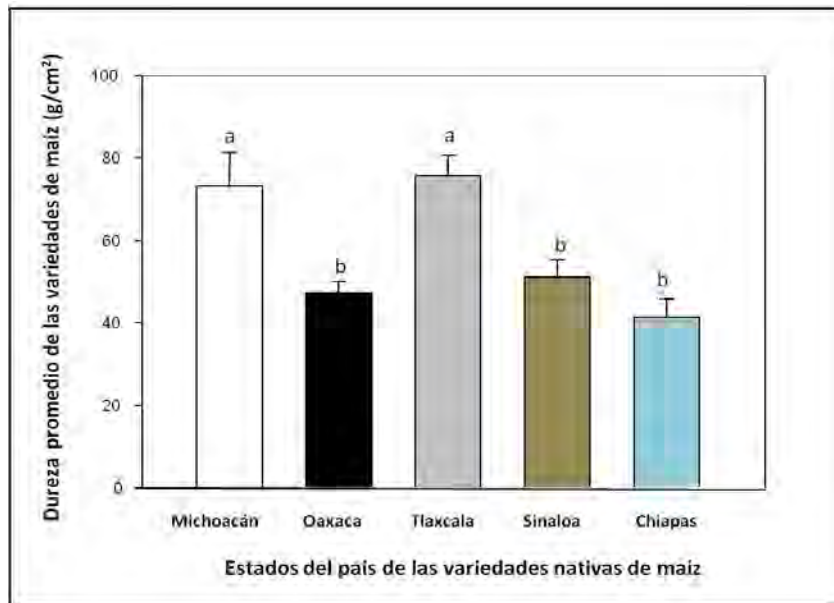


Figura 26. Dureza promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

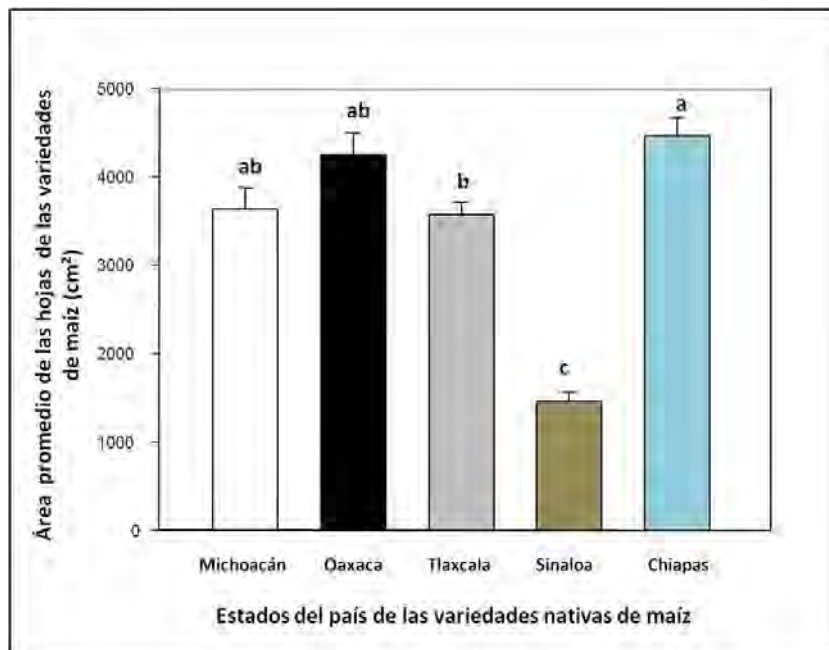


Figura 27. Área de hojas expandidas promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

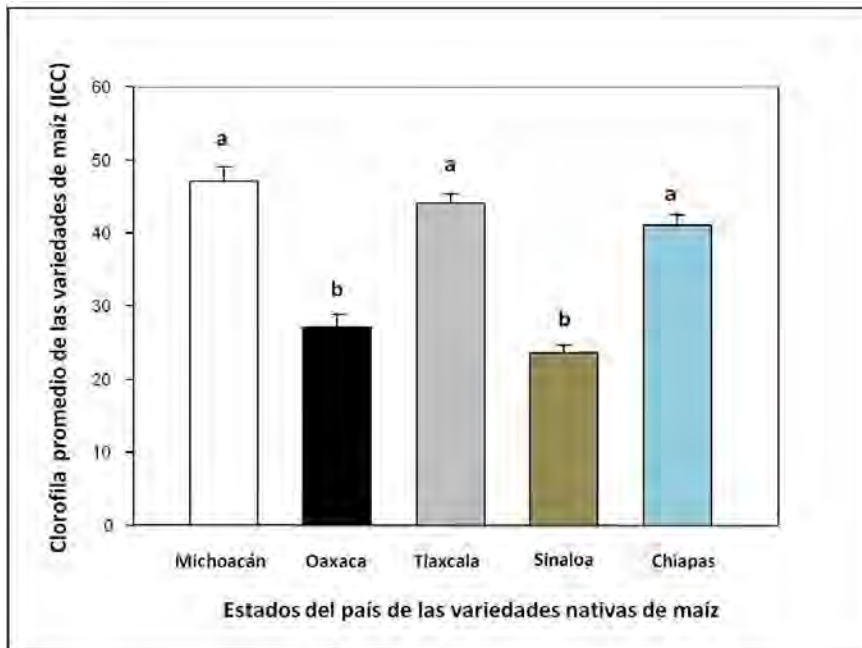


Figura 28. Clorofila promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

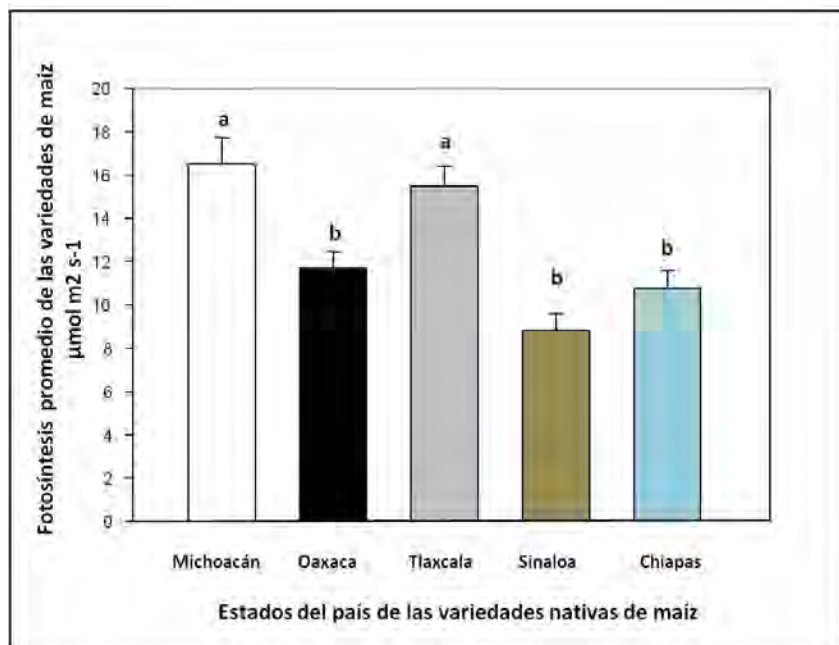


Figura 29. Fotosíntesis promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

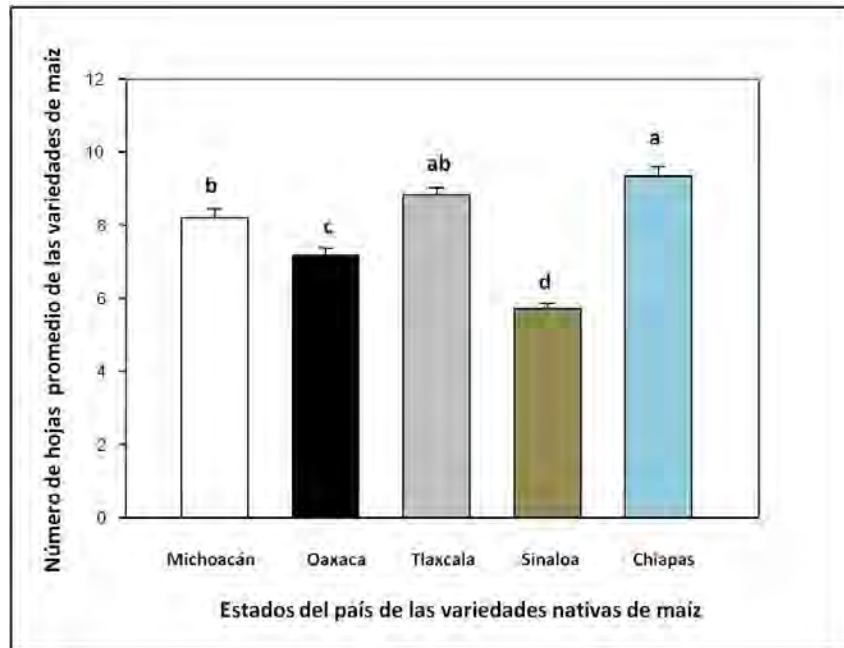


Figura 30. Número de hojas promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

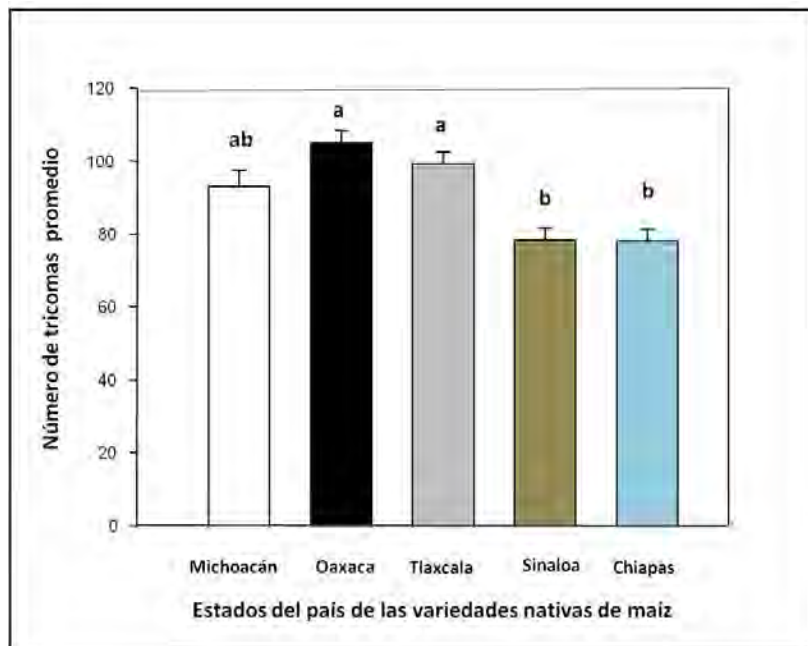


Figura 31. Número de tricomas promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

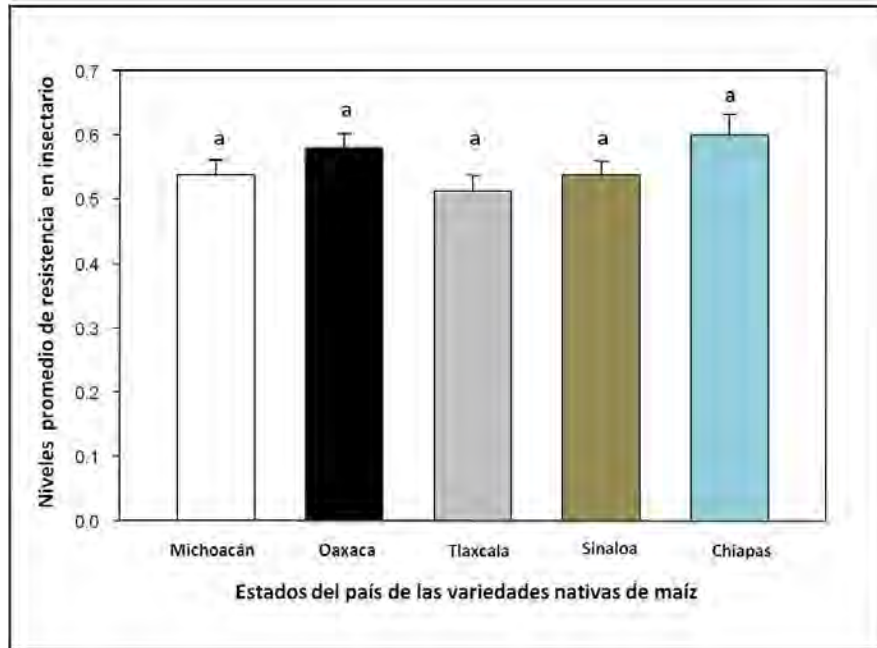


Figura 32. Niveles de resistencia promedio bajo condiciones de insectario de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

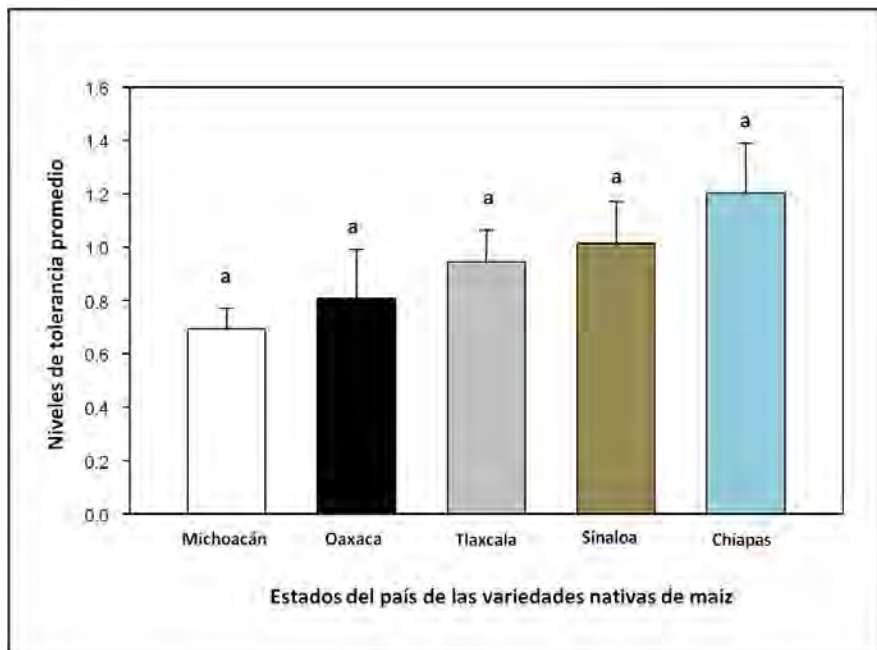


Figura 33. Tolerancia promedio de las diferentes variedades nativas de maíz con respecto al estado de procedencia.

Gráficas de variedades nativas y comerciales de maíz

Gráficas de altura, diámetro de tallo, dureza, área total de hojas expandidas, clorofila, fotosíntesis, número de hojas expandidas, número de tricomas, resistencia constitutiva condiciones insectario y tolerancia promedio de las diferentes variedades nativas y comerciales de maíz. Nota: letras diferentes representa diferencias significativas según Dunnett.

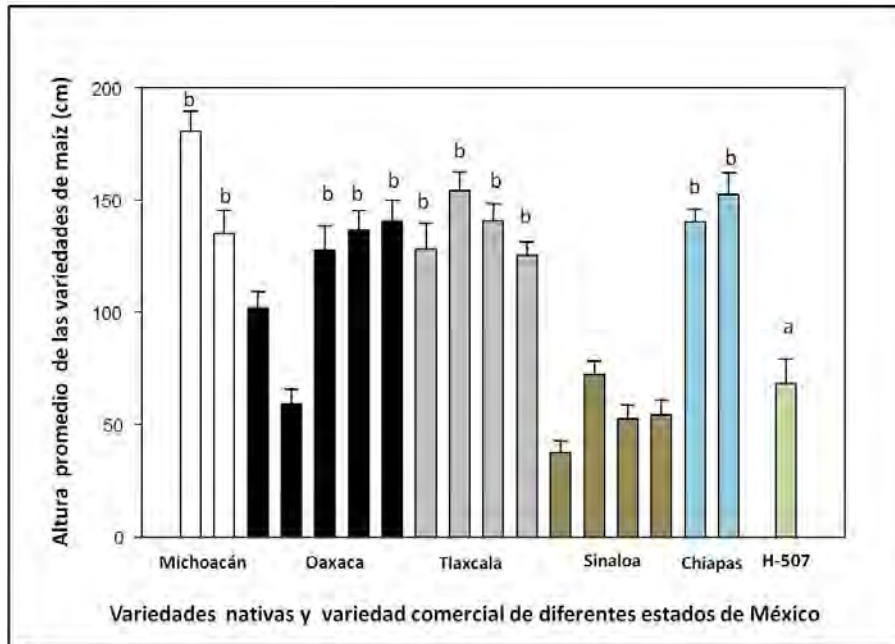


Figura 34. Altura promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

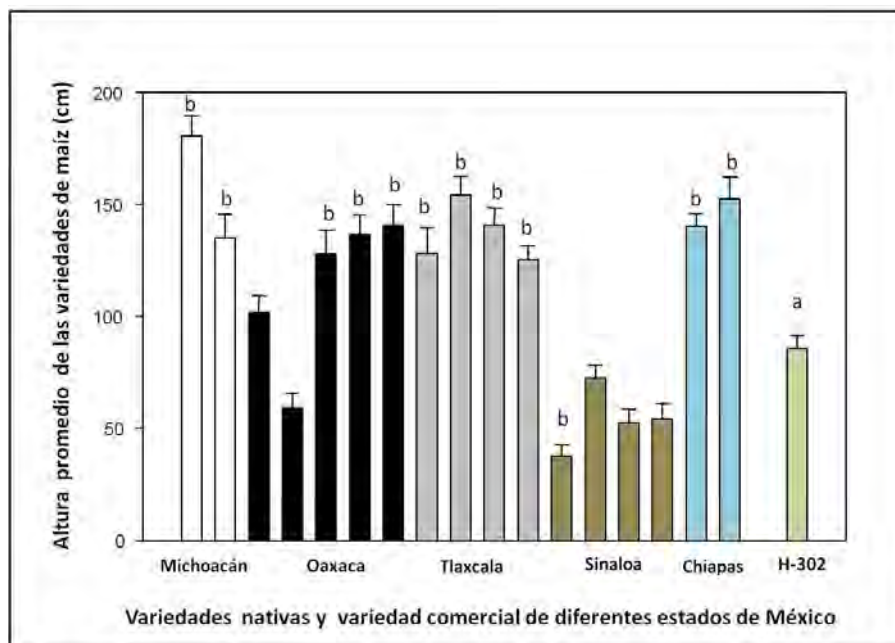


Figura 35. Altura promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

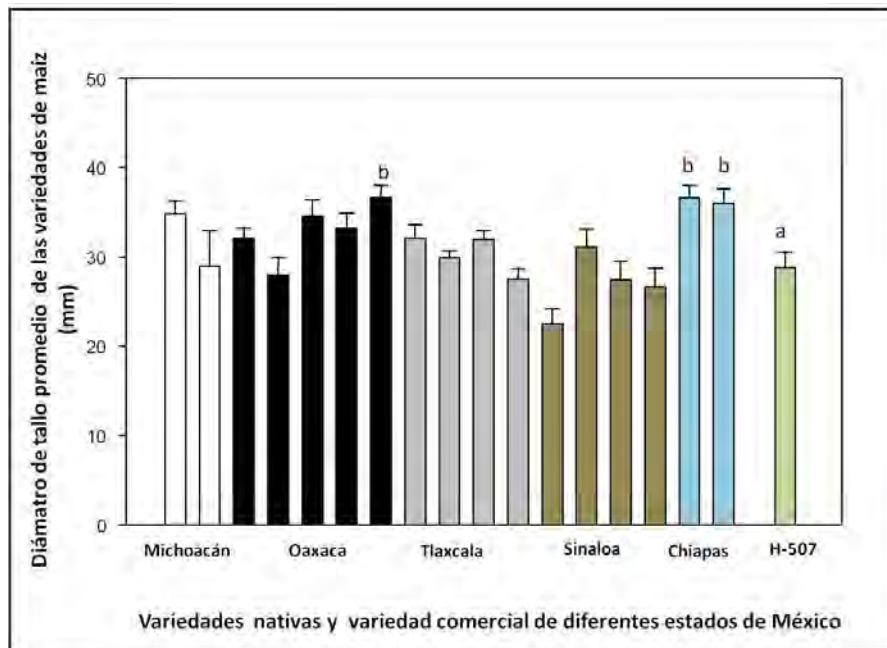


Figura 36. Diámetro de tallo promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

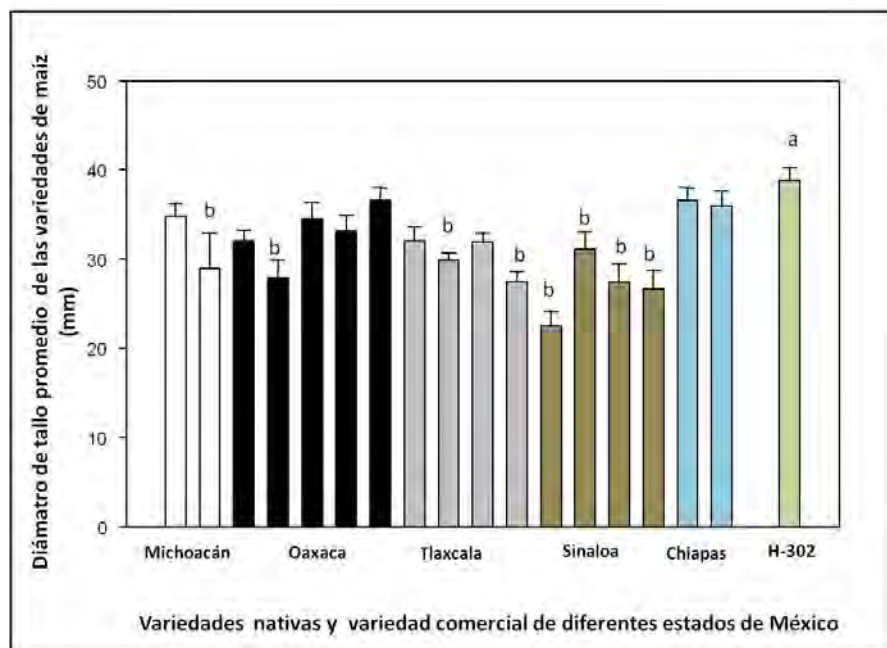


Figura 37. Diámetro de tallo promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

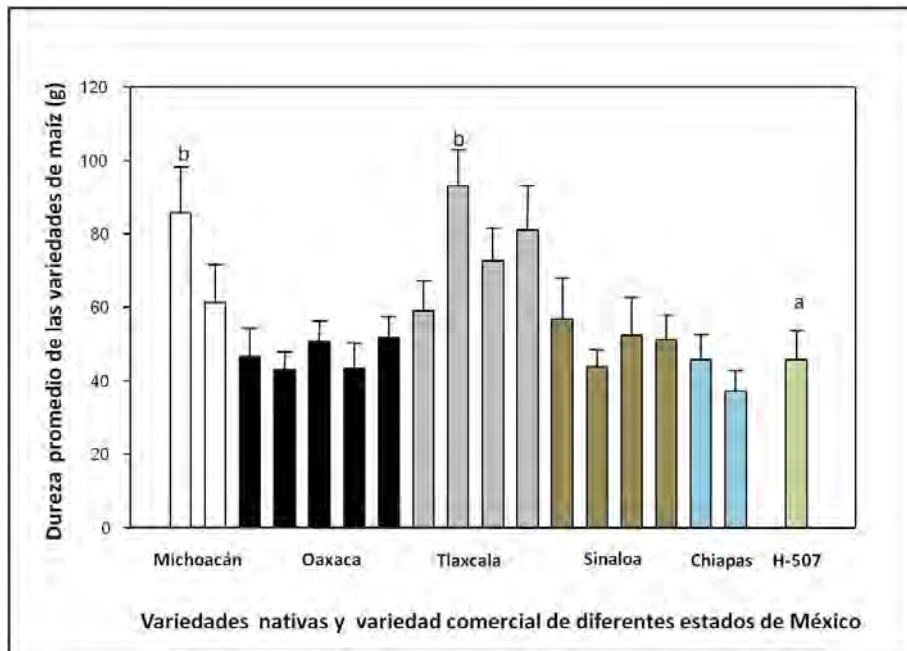


Figura 38. Dureza promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

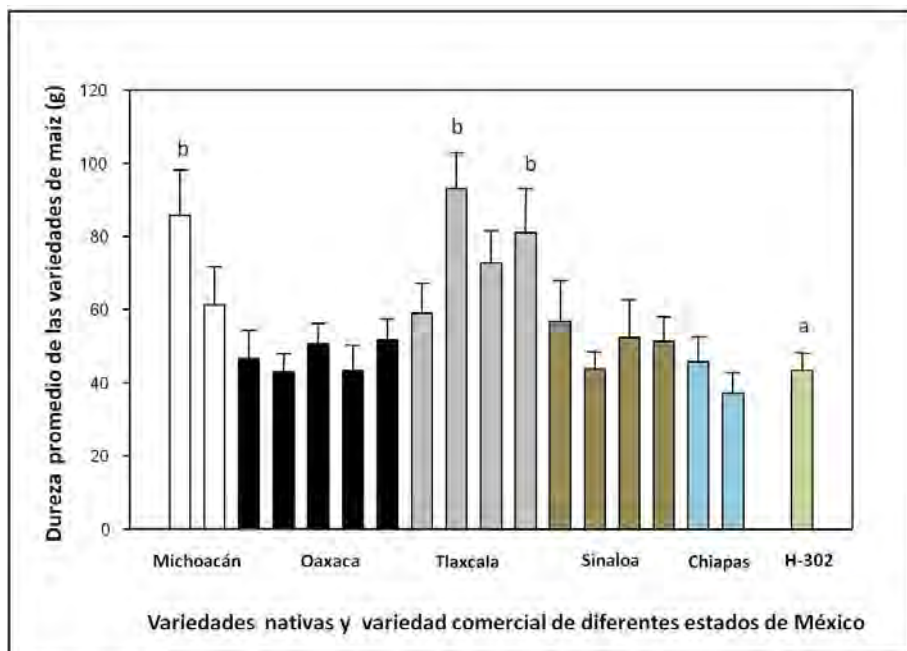


Figura 39. Dureza promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

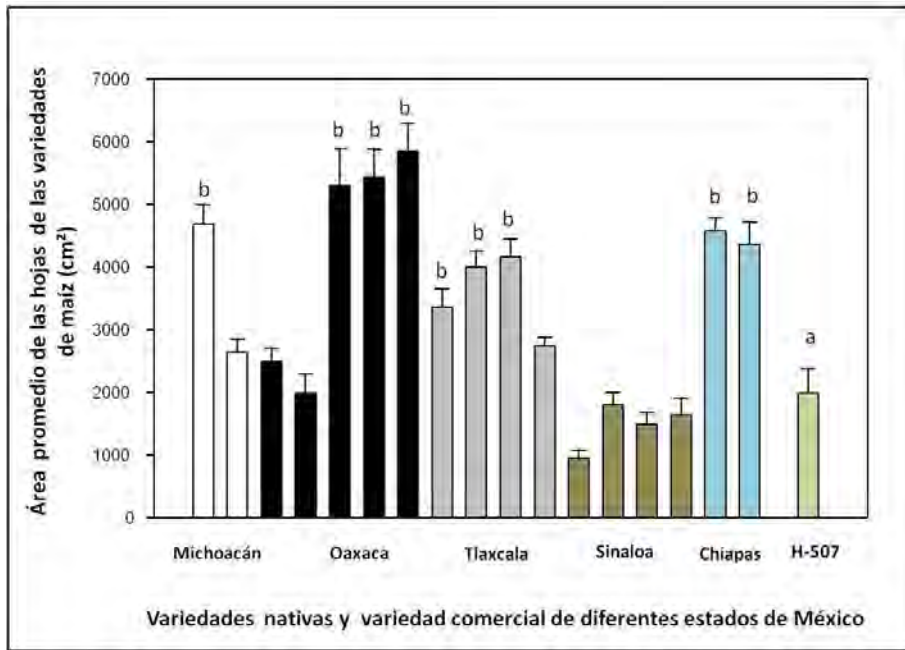


Figura 40. Área promedio de hojas expandidas de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

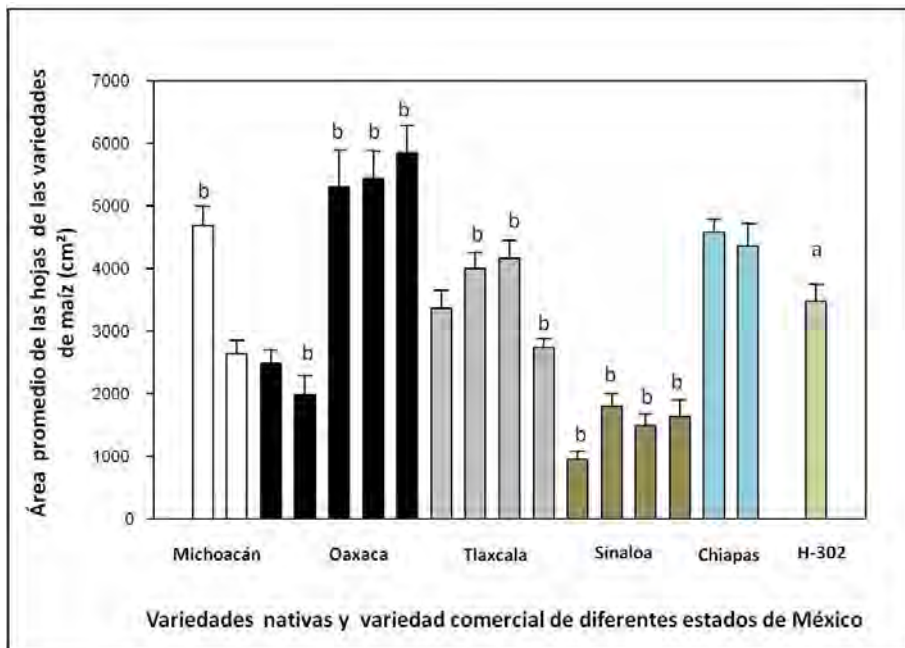


Figura 41. Área promedio de hojas expandidas de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

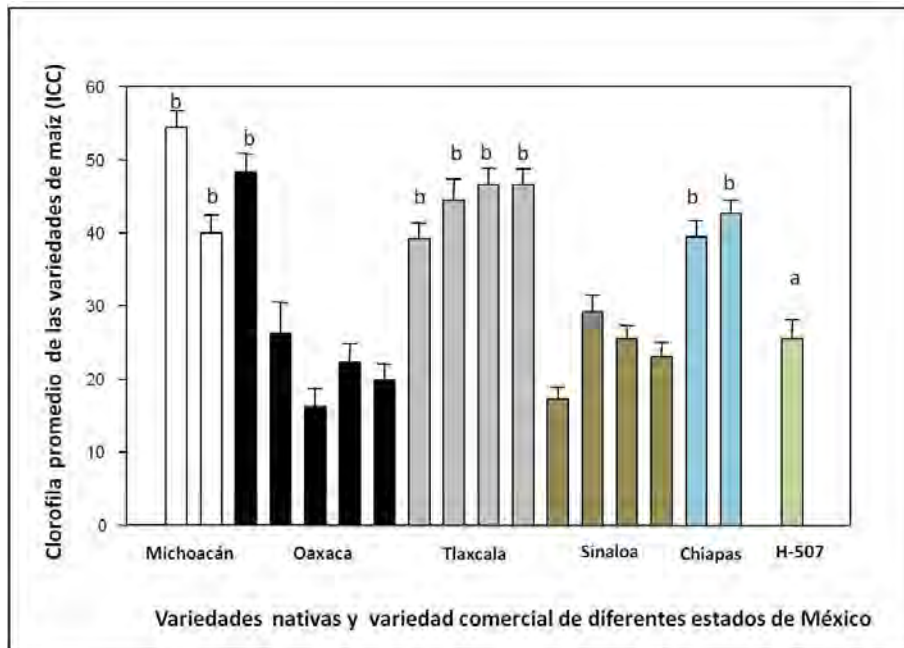


Figura 42. Clorofila promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

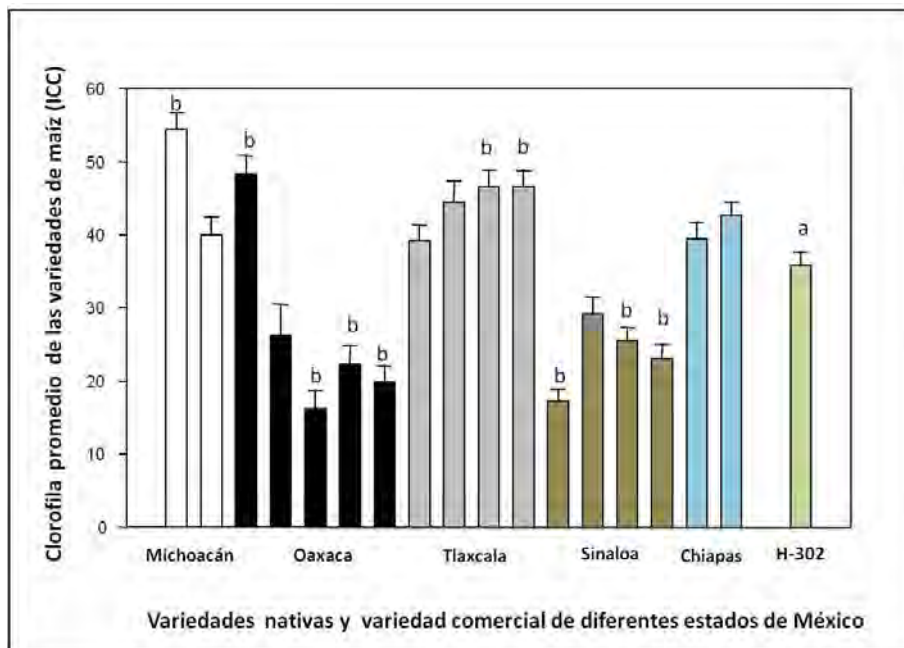


Figura 43. Clorofila promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

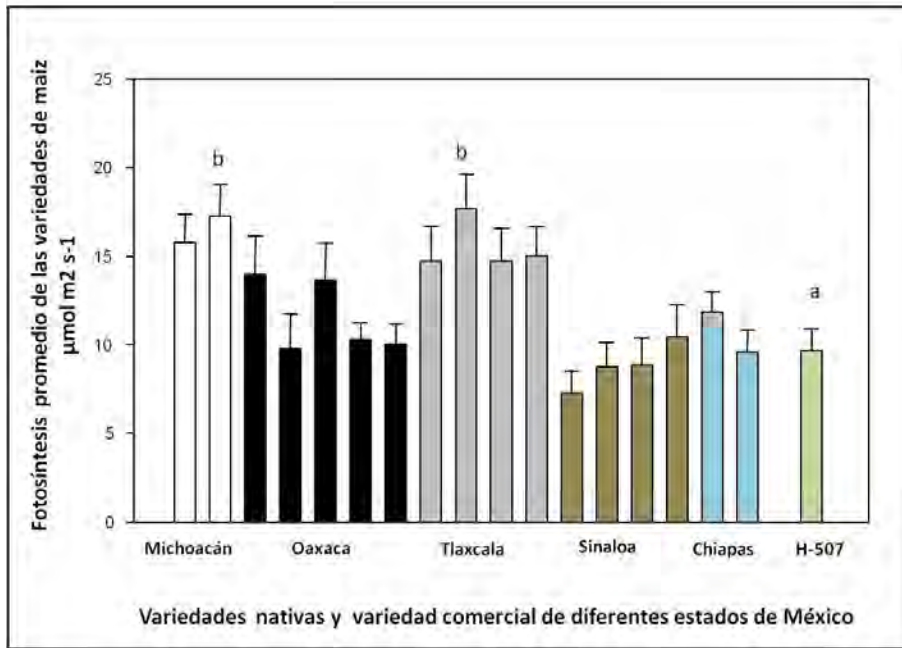


Figura 44. Fotosíntesis promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

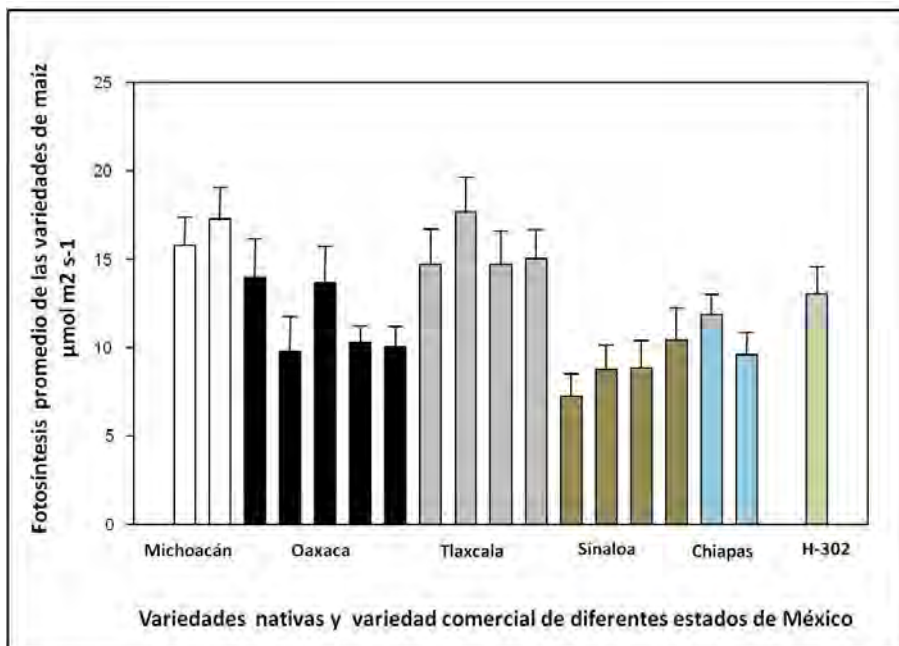


Figura 45. Fotosíntesis promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

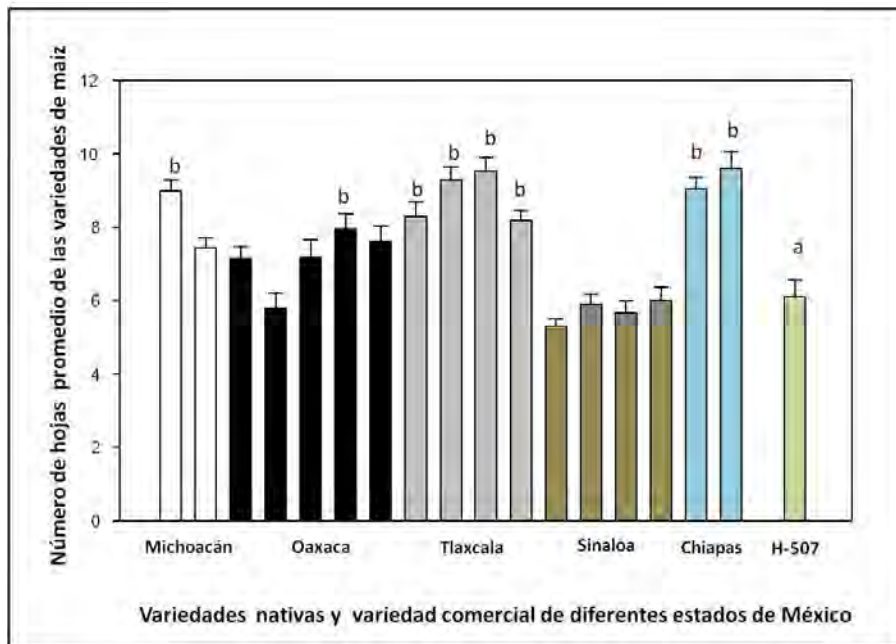


Figura 46. Promedio del número de hojas expandidas de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

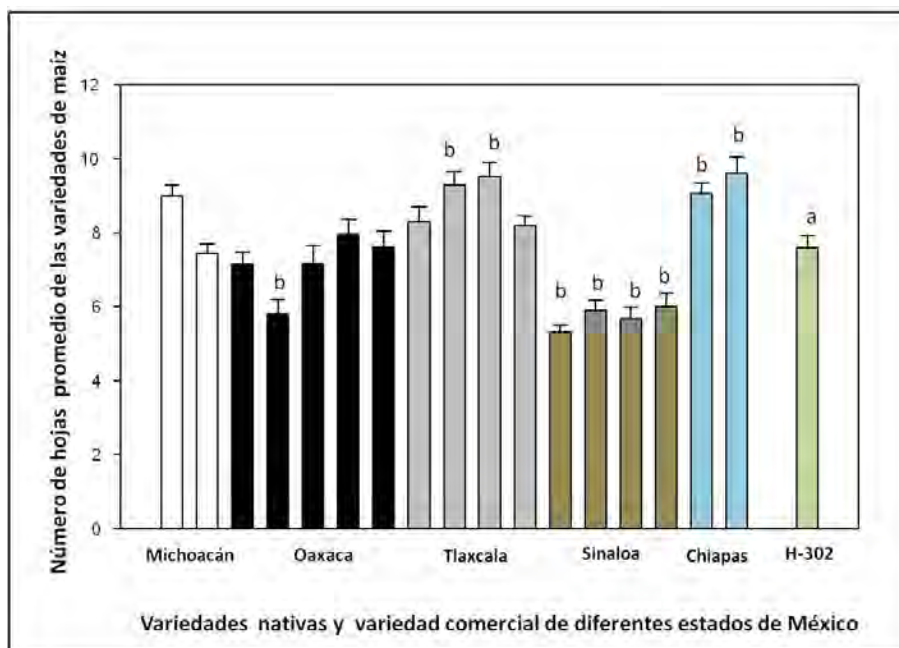


Figura 47. Promedio del número de hojas expandidas de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

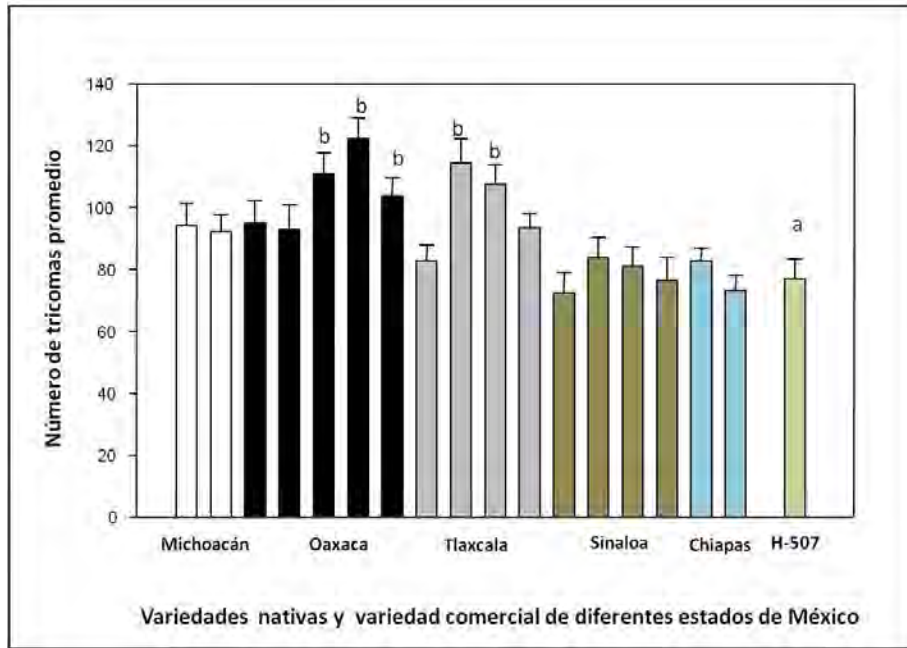


Figura 48. Número de tricomas promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

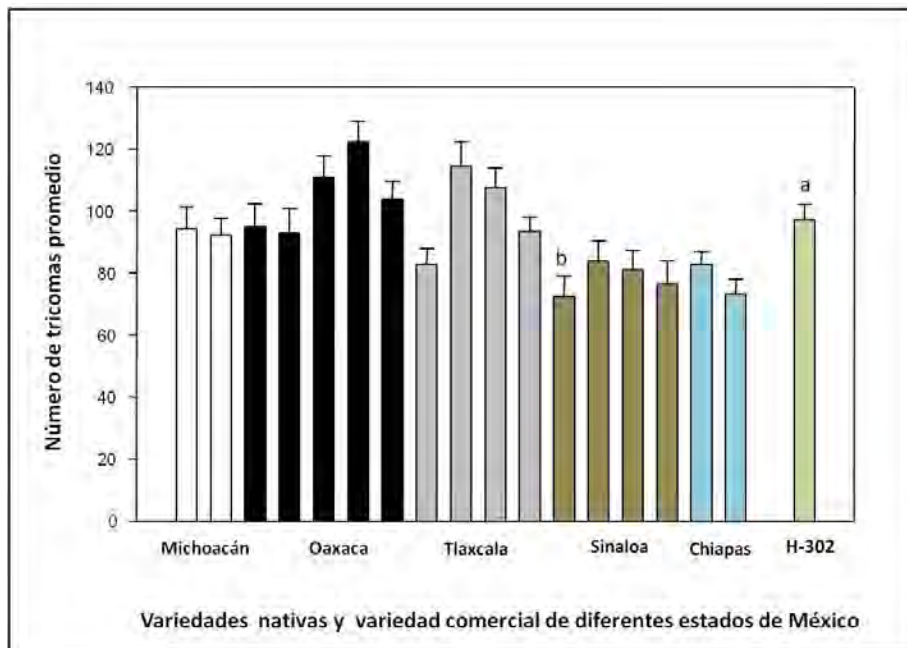


Figura 49. Número de tricomas promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz.

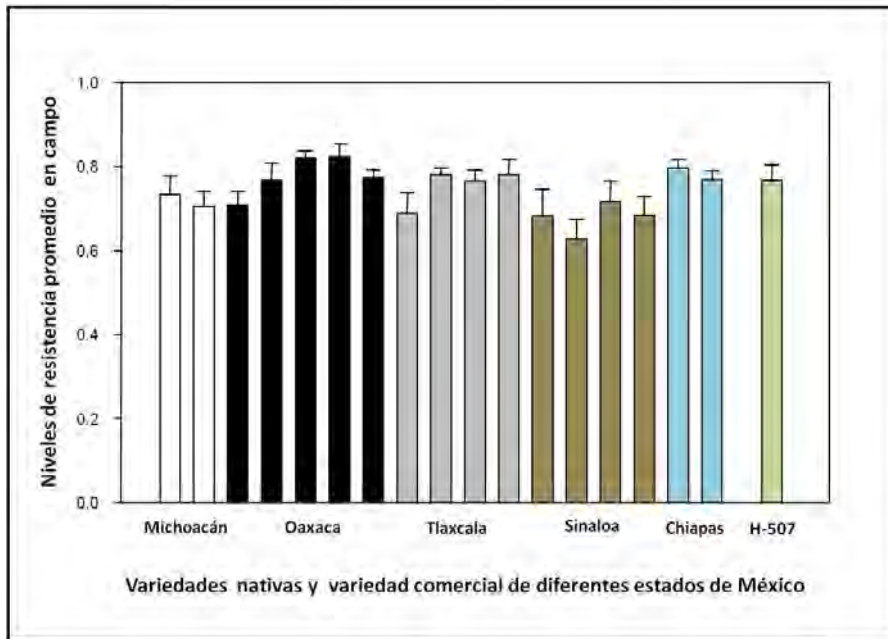


Figura 50. Niveles de resistencia promedio de las variedades nativas y la variedad comercial de maíz bajo condiciones de campo.

Correlaciones de cada una de las variedades nativas y los diferentes atributos medidos.

Tabla 10.

Variedad Cónico	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.2837	1					
Dureza	-0.2199	0.0563	1				
Área total	0.7000	0.3315	-0.2209	1			
Clorofila	0.2441	0.1122	-0.1540	-0.0684	1		
Fotosíntesis	-0.7228	-0.0017	0.0915	-0.6614	0.0894	1	
Número de hojas expandidas	0.5590	0.0072	-0.6293	0.5546	-0.0181	-0.5419	1

Tabla 11.

Variedad Tabloncillo	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.3340	1					
Dureza	0.4040	0.0423	1				
Área total	0.7404	0.4661	0.2845	1			
Clorofila	0.5507	0.3729	0.2868	0.3819	1		
Fotosíntesis	0.3370	0.4766	0.2247	0.2390	0.4015	1	
Número de hojas expandidas	0.5250	0.2410	0.3190	0.7356	0.2864	0.4920	1

Tabla 12.

Variedad Bolita	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.2309	1					
Dureza	0.1018	0.0422	1				
Área total	0.7040	0.4556	0.1613	1			
Clorofila	0.3798	0.5804	-0.0912	0.7037	1		
Fotosíntesis	0.6175	-0.0812	-0.0452	0.3654	0.0436	1	
Número de hojas expandidas	0.5919	0.0100	0.2325	0.8071	0.4378	0.3339	1

Tabla 13.

Variedad Chaparro	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.3020	1					
Dureza	0.5036	0.1574	1				
Área total	0.9383	0.4464	0.5195	1			
Clorofila	0.2305	0.2714	-0.1918	0.225	1		
Fotosíntesis	-0.0752	-0.1896	0.3164	0.0661	-0.0196	1	
Número de hojas expandidas	0.8132	0.5532	0.3519	0.8042	0.2528	-0.0312	1

Tabla 14.

Variedad Olotillo	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.6491	1					
Dureza	-0.1257	-0.1871	1				
Área total	0.8926	0.7708	-0.2131	1			
Clorofila	0.5314	0.7151	-0.3763	0.7192	1		
Fotosíntesis	-0.2105	-0.3112	0.5924	-0.2531	-0.3941	1	
Número de hojas expandidas	0.8509	0.7787	-0.3526	0.9189	0.7033	-0.3366	1

Tabla 15.

Variedad Tepecintle	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.5314	1					
Dureza	0.0768	-0.3425	1				
Área total	0.8307	0.7316	-0.1525	1			
Clorofila	0.2218	0.5706	-0.4649	0.2887	1		
Fotosíntesis	0.1849	-0.2592	0.5496	0.0154	-0.1776	1	
Número de hojas expandidas	0.6447	0.8373	-0.3963	0.7745	0.6426	-0.2367	1

Tabla 16.

Variedad Tablita	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.7440	1					
Dureza	0.1543	0.3324	1				
Área total	0.8555	0.7502	0.2123	1			
Clorofila	0.6078	0.5727	-0.2019	0.5149	1		
Fotosíntesis	-0.0773	-0.1723	-0.0455	-0.0113	-0.0567	1	
Número de hojas expandidas	0.8089	0.7333	0.2456	0.8929	0.6272	-0.0483	1

Tabla 17.

Variedad Áncho	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.2835	1					
Dureza	0.2379	-0.1623	1				
Área total	0.8567	0.4526	0.3679	1			
Clorofila	0.5949	0.3368	0.3953	0.6451	1		
Fotosíntesis	0.2038	0.4962	-0.3414	0.1879	0.1503	1	
Número de hojas expandidas	0.6945	0.5350	0.3292	0.8198	0.6187	0.0445	1

Tabla 18.

Variedad Complejo cónico chalqueño	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.5947	1					
Dureza	-0.6065	-0.2637	1				
Área total	0.7933	0.8161	-0.6006	1			
Clorofila	0.2293	0.4240	-0.0421	0.2279	1		
Fotosíntesis	-0.3703	-0.2475	0.2897	-0.3725	-0.0808	1	
Número de hojas expandidas	0.5883	0.2376	-0.5803	0.6030	0.0025	-0.0738	1

Tabla 19.

Variedad Chalqueño	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.2842	1					
Dureza	-0.0827	-0.0669	1				
Área total	0.8877	0.4122	-0.2279	1			
Clorofila	0.5894	0.4859	-0.2790	0.0543	1		
Fotosíntesis	0.3315	-0.1390	0.1754	-0.0754	0.2617	1	
Número de hojas expandidas	0.5391	0.2617	-0.2218	0.7523	0.4347	-0.2205	1

Tabla 20.

Variedad Cacahuacintle	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	-0.1975	1					
Dureza	0.0362	-0.2871	1				
Área total	0.6871	0.1004	-0.0343	1			
Clorofila	0.4858	0.0441	-0.0822	0.5343	1		
Fotosíntesis	0.1190	-0.3504	0.2368	0.2205	0.1078	1	
Número de hojas expandidas	0.5829	-0.0658	-0.1590	0.6948	0.5720	0.3417	1

Tabla 21.

Variedad Chapalote	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.7092	1					
Dureza	0.2792	0.1810	1				
Área total	0.8371	0.6601	0.2391	1			
Clorofila	0.2888	0.5488	-0.1214	0.4300	1		
Fotosíntesis	-0.2331	-0.2917	0.3470	-0.0255	-0.1759	1	
Número de hojas expandidas	0.7571	0.4263	0.0888	0.8941	0.3256	-0.0219	1

Tabla 22.

Variedad Elotero Sinaloa	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.4087	1					
Dureza	-0.0211	-0.1638	1				
Área total	0.3157	0.3508	-0.1911	1			
Clorofila	0.2315	0.6245	-0.1646	0.3771	1		
Fotosíntesis	0.3571	0.0359	0.4030	0.1316	0.1526	1	
Número de hojas expandidas	0.6475	0.4907	-0.1699	0.6207	0.0304	0.0078	1

Tabla 23.

Variedad Tabloncillo Perla	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.6084	1					
Dureza	-0.1257	-0.4239	1				
Área total	0.6508	0.6367	-0.1768	1			
Clorofila	0.5557	0.6016	-0.1334	0.5665	1		
Fotosíntesis	-0.3057	-0.1289	-0.0103	-0.0877	-0.1950	1	
Número de hojas expandidas	0.7158	0.6732	-0.4281	0.6722	0.3700	0.0031	1

Tabla 24.

Variedad Tabloncillo Culiacán	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.3789	1					
Dureza	-0.0120	0.2884	1				
Área total	0.5148	0.2362	0.1765	1			
Clorofila	-0.0444	0.5109	0.4707	0.1578	1		
Fotosíntesis	-0.0511	-0.0534	0.1772	0.1428	0.0060	1	
Número de hojas expandidas	0.3613	0.2798	0.1420	0.8876	0.3283	0.1562	1

Tabla 25.

Variedad Vandefío	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	-0.0150	1					
Dureza	0.6523	-0.2330	1				
Área total	0.4481	0.5969	0.1861	1			
Clorofila	0.1729	0.5428	0.1422	0.4601	1		
Fotosíntesis	0.1902	-0.3407	0.4436	-0.4114	-0.1872	1	
Número de hojas expandidas	0.3877	0.4265	-0.1615	0.6017	0.0451	-0.4893	1

Tabla 26.

Variedad Comiteco	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.2992	1					
Dureza	0.0739	-0.3962	1				
Área total	0.5308	0.5488	-0.1818	1			
Clorofila	0.1609	0.5909	-0.1607	0.3804	1		
Fotosíntesis	-0.0526	-0.1894	0.4981	0.2180	0.1082	1	
Número de hojas expandidas	0.2581	0.3197	-0.0259	0.7476	0.2702	0.3037	1

Tabla 27.

Variedad Híbrido 507	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.6348	1					
Dureza	0.1853	-0.0036	1				
Área total	0.8357	0.8161	0.0712	1			
Clorofila	0.2426	0.7279	0.1436	0.4436	1		
Fotosíntesis	0.0882	0.0465	0.1031	0.1887	-0.1666	1	
Número de hojas expandidas	0.7485	0.8182	-0.0680	0.8793	0.4384	0.2528	1

Tabla 28.

Variedad Híbrido 302	Altura	Diámetro tallo	Dureza	Área total	Clorofila	Fotosíntesis	Número de hojas expandidas
Altura	1						
Diámetro de tallo	0.2188	1					
Dureza	-0.0965	0.2596	1				
Área total	0.8702	0.4165	-0.1370	1			
Clorofila	0.3204	0.6781	-0.0189	0.4135	1		
Fotosíntesis	0.3294	-0.3187	0.0696	0.2421	-0.3578	1	
Número de hojas expandidas	0.8449	0.3668	-0.0574	0.8623	0.4585	0.1680	1

ANEXO 2. VARIEDADES NATIVAS DE MAÍZ EMPLEADAS EN ESTE TRABAJO

Cuadro1. Variedades de maíz nativo y variedades comerciales. Información obtenida de Hernández-Xolocotzi, 1987; CONABIO, 2015; Aragón, 2005; Rendón, 2011; Herrera *et al.*, 2004 y Ficha técnica semillas Berentsen.

Variedades Maíz nativo

Michoacán

Cónico: Mazorca en forma cónica o piramidal, es una variedad que presenta una gran variación en el color del grano (blanco, amarillo, morado y rojos). Los granos son semicristalinos y semidentados. Su ciclo de vida es intermedio. Se cultiva en las áreas agrícolas de temporal de zonas altas y templadas principalmente en los estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo, desde los 950 hasta los 3,000 msnm aunque, predomina entre los 1,800 y 2,800 msnm. Su uso culinario es amplio: tortilla, elote y como forraje. Al parecer se originó a partir de la cruce natural de poblaciones de las razas Palomero Toluqueño y Cacahuacintle.



Tabloncillo: Las mazorcas de esta variedad son alargadas de grano dentado a semicristalino. El color del grano es amarillo, anaranjado y “ahumado”. Presenta variación en el tamaño de la planta y en la precocidad, hay plantas bajas precoces hasta plantas altas y tardías. Se distribuye en los estados de Michoacán, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Chihuahua y Baja California Sur. Dentro de esta variedad hay una gran diversidad en la altura y en el ciclo de vida (ciclo intermedio-largo). Su mayor extensión es en el occidente de México y noroeste de país, desde los estados de Michoacán, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sierra de Sonora Chihuahua y Baja California Sur. Es una de las variedades de mayor uso comercial y probablemente una de las más productivas previo a la expansión de los maíces híbridos aunque, en los últimos diez años se ha reducido su extensión de siembra. El uso de esta variedad es en elote, tortilla, pozole y se emplea también para preparar una bebida fermentada llamada piznate. Al parecer se originó por el cruzamiento de las razas Harinoso de Ocho y Reventador.



Oaxaca

Bolita: Plantas de porte bajo y maduración precoz, presenta mazorcas pequeñas y con buena cobertura de grano. Los granos tienen una apariencia redonda y una gran diversidad de colores. Predomina en los Valles Centrales del estado de Oaxaca de donde se considera originaria y donde expresa su mayor diversidad. Se ha colectado también en Puebla, Guerrero, Jalisco y en algunas zonas del norte del país. Se emplea en programas de mejoramiento como fuente de resistencia a sequía. Tiene muchas introgresiones con otras variedades, por lo que su área de adaptación es muy amplia. La forma precoz de esta variedad

dio origen a las variedades VS 201 y CAFIME que se continúan usando en algunas zonas como generaciones avanzadas en áreas templadas semiáridas de altura.



Chaparro: Es una variedad muy común en las región Loxicha, Sierra Madre del Sur Oaxaca aunque, se distribuye únicamente en altitudes menores a los 600 msnm, en particular, se distribuye entre los 240 a 1100 msnm Esta variedad es de ciclo corto (3-4 meses). Se siembran en sitios con estacionalidad marcada y vegetación de selva baja caducifolia.



Olotillo: Las mazorcas de esta variedad son largadas y de grano dentado a semiharinoso con variación en el color de la semillas. Se distribuye en Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Veracruz, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí. Se desarrolla bajo condiciones edáficas limitantes, en suelos someros, factor que es un componente importante en los sistemas de milpa de las zonas tropicales del país. Su presencia en estados como Oaxaca y Chiapas ha disminuido ya que ha sido desplazado por la variedad Tuxpeño o maíces híbridos. Se cree que procede de la evolución directa de plasma de teocintle.



Tepecintle: Una de las características de las mazorcas de esta variedad es la punta descubierta sin presencia de granos. La mazorca de esta variedad es cilíndrica y de grano dentado. El grano es de color blanco, amarillo o naranjado. Es una variedad sembrada en las laderas (de donde deriva su nombre: tepe - cerro o ladera - y cintle - maíz de cerro). Esta variedad se encuentra adaptada a altitudes de 90-2050 msnm, a una temperatura media de 16.5 a 27.8°C y a una precipitación de 518-3793 msnm. Se considera que junto con Olotillo participó en la formación de otras variedades de maíz como Tuxpeño o Vandefío.



Tablita: La mazorca es cónica alargada y delgada en la parte terminal y el grano es semidentado. Son plantas de una altura de 2m aproximadamente, con un periodo de 70-80 días a la floración. Esta variedad presenta variación en el tamaño de la mazorca. Se cultiva principalmente en elevaciones bajas a intermedias (250-1500 msnm), se puede encontrar desde los Valles centrales de Oaxaca y en las cañadas del noroeste de México.



Tlaxcala

Chalqueño: Es una de las variedades de maíz más productivas. El grano es de color blanco, amarillo, rojo, rosado o azul. Son maíces de ciclo largo, dominan en las partes altas, arriba de los 1,800 msnm en suelos volcánicos. Es una variedad resistente a la sequía en etapas medias de crecimiento. Es una variedad base para la formación de maíces mejorados para valles y partes altas del centro de México. Tiende al acame ante los fuertes vientos debido a que es una planta con gran cantidad de biomasa. Posiblemente pudo haber derivado de la cruce de Cónico con Tuxpeño.



Cacahuacintle: Las semillas son grandes y harinosas de color blanco, rosa o azul. Su presencia se ha reportado en los estados de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo así como también en el Distrito Federal. Se encuentra adaptado sobre todo a suelos volcánicos, región donde se encuentra su mayor diversidad. Es la variedad usada para preparar pozole y pinole.



Áncho: Las mazorcas de esta variedad son semicilíndricas de granos grandes y anchos dentados. Se distribuye en los estados de Guerrero, Morelos, Puebla, Michoacán y Jalisco entre 800-1,800 msnm.



Complejo cónico-chalqueño: Esta variedad se distribuye en los estados de Zacatecas, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y en el estado de México. Se localizan a una altitud de 1900 a 2640 msnm El color del grano es blanco-crema.

Sinaloa

Chapalote: Los granos se caracterizan por ser de color café. Se distribuye en los estados de Sinaloa y Sonora y se ha encontrado hasta altitud de 2,200 msnm. Se considera una de las variedades antiguas de México.



Elotero Sinaloa: Las mazorcas son alargadas, semielípticas y de grano color azul. Cultivada en el occidente de México desde Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Colima y se extiende hasta Michoacán y Guerrero. Se considera asociado con Chapalote del cual probablemente se derivó con cierta influencia de Blando de Sonora, Harinoso de Ocho o con Onaveño. Actualmente también se ha mencionado que se asemeja con Bofo y con los Elotes Occidentales por el tipo de mazorca y grano.



Tabloncillo perla: Las mazorcas son alargadas de grano de textura cristalina. Adaptada a lugares secos. Su mayor diversidad se encuentra en los estados de Sinaloa y Nayarit, aunque también se encuentra en Jalisco, Colima y Michoacán. Se han desarrollado algunas variedades mejoradas a partir de esta raza. Se emplea para producir tortillas, pinole y frituras.



Tabloncillo Culiacán: Está adaptada a lugares bajos y secos, se cultiva en suelos delgados. Se cultiva en los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, norte de Sonora y Baja California Sur.



Chiapas

Vandeño: De mazorcas cilíndricas, de grano dentado de color blanco aunque también puede encontrarse granos azules, amarillos y rojos. Su distribución va desde los 80-2080 msnm, se encuentra desde Chiapas hasta Sonora. Presenta mayor adaptación a condiciones de poca precipitación. Su ciclo es intermedio. Se ha reportado que su área de distribución potencial es desde las Costa, Istmo y Mixteca.



Comiteco: Estos maíces son de ciclo tardío (más de 120 días a la floración), son plantas altas (4m) y de tallos gruesos su distribución va desde los 1300-2340 msnm, se encuentra en temperaturas que van de 14.9 a 20.6°C y una precipitación de 1154-1962 mm. Es una variedad típica de Comitán, Chiapas, donde se siembra bajo condiciones de alta humedad.



Variedades de Maíz comercial

Variedad comercial Elotero Híbrido 302SB:

Propósito: grano y silo. **Características:** resistente al acame. **Ciclo:** intermedio-precoc. **Altura:** 1.40-2.50 m. La forma de la mazorca es cilíndrica y el tamaño de la mazorca es grande. **Color de grano:** Blanco y la forma del grano es semidentado. Esta variedad está adaptada a una altitud de 800-1850 msnm. **Días a la floración:** 75 días. **Madurez fisiológica:** 145 días. **Día a la cosecha:** 160 días. **Altura de plantas:** 2.30 a 2.50 m. **Condiciones de siembra:** **Riego:** Sí. **Temporal:** Sí. **Temporal regular:** No. **Densidad de siembra:** para forraje se estima en 60-70mil plantas/hectárea y 75-85mil plantas% hectárea de forraje. **Comportamiento en tipo de suelo:** Arenoso: bueno. Limoso: muy bueno. Arcilloso: regular. **Resistencia a enfermedades:** en hoja, raíz y tallo. **Cobertura de mazorca:** Buena.



Variedad comercial 507 ("565"):

Híbrido liberado hace más de 40 años. Variedad mejorada del híbrido 565. **Propósito:** producción de elote y forraje. **Característica:** resistente al acame y a la enfermedad mancha de asfalto. **Ciclo:** intermedio (130-135 días). **Altura de las plantas:** 2.80-2.90 m. **Grano:** Blanco dentado. **Adaptabilidad:** Áreas tropicales y húmedas de México con altitudes menores a 1,200 msnm, precipitación de 900 a 1,200 mm y temperatura media anual de 24 a 27°C. Los estados favorables para su crecimiento son: Guerrero Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Yucatán. Se puede sembrar en lugares donde se presentan enfermedades foliares sin reducir drásticamente su producción. **Condiciones de siembra:** **Riego:** Sí. **Temporal:** Sí. **Densidad de siembra:** el rendimiento en promedio es de 7.9t/ha de grano y con posibilidades de tener 10t/ha. Para mejores resultados de producción, se recomienda usar en promedio 100 unidades de nitrógeno y 60 de fósforo por hectárea.

