



Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 3 Núm. 1 Enero-Junio, 2016

ISSN: 2007-9559

Revista Mexicana de Agroecosistemas



Oaxaca, Volumen III, Número 1, 2016

Foto: *Pisang awak*



Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca



Revista Mexicana de Agroecosistemas

REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol. 3, Núm. 1 enero-junio 2016, es una publicación de la Secretaría de Educación Pública-Tecnológico Nacional de México, editada a través del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por la División de Estudios de Posgrado e Investigación. Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 56230, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-060211581800-203 e ISSN 2007-9559, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsables de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. José Cruz Carrillo-Rodríguez y Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz, Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 56230, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788, www.itvalleoaxaca.edu.mx, rmae.itvo@gmail.com. Fecha de última modificación, 24 de junio de 2016.

Su objetivo principal es difundir los resultados de investigación científica de las áreas agropecuaria, forestal, recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas, ambientales y socioeconómicas.

Para su publicación, los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución; las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.



Comité Editorial (DEPI-ITVO)

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle
Dr. Salvador Lozano Trejo
Dr. Vicente A. Velasco Velasco
Dr. Yuri Villegas Aparicio
Dra. Gisela M. Santiago Martínez
Dra. Gisela V. Campos Ángeles
Dra. Martha P. Jerez Salas
M.C. Gustavo O. Díaz Zorrilla
M.C. Judith Ruíz Luna
M.C. María Isabel Pérez León

Coordinación editorial

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Cruz Carrillo-Rodríguez

Diseño de portada

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz



Comité de arbitraje en este número

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo (DEPI-ITVO)
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez (DEPI-ITVO)
Dr. Stefan Marian Waliszewski Kubiak (Universidad Veracruzana)
Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles (DEPI-ITVO)
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle (DEPI-ITVO)
Dr. Vicente A. Velasco Velasco (DEPI-ITVO)
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz (DEPI-ITVO)
M.C. Gustavo O. Díaz Zorrilla (DEPI-ITVO)
M.C. María Isabel Pérez León (DEPI-ITVO)



Prólogo

La “Revista Mexicana de Agroecosistemas” (RMAE) surgió de una propuesta del Consejo del Posgrado del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Su objetivo es difundir los resultados generados del esfuerzo de alumnos e investigadores del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas que se imparte en este Instituto, y de las Licenciaturas en Biología e ingeniería en Agronomía y Forestal. Esta revista científica (RMAE) contempla las áreas agrícola, pecuaria, forestal y recursos naturales, considerando la agrobiodiversidad y las disciplinas biológicas ambientales y socioeconómicas.

Por ello, se hace la invitación a alumnos, académicos e investigadores para que utilicen este espacio para publicar sus resultados de investigación relacionados con estas áreas. Los manuscritos se pueden enviar de acuerdo con las normas publicadas en el Vol. 1, Núm. 1 (2014) y pueden ser de tres tipos: artículo científico, ensayo libre (artículos de revisión, notas técnicas, nuevas variedades, especies, etc.) y nota informativa. Todos los manuscritos se someterán a arbitraje y a edición. Deberán ser originales e inéditos, de alta calidad, acordes con las normas indicadas en este volumen y que no se hayan publicado o se vayan a publicar en otra revista.

En este número presentamos editados como artículos de investigación, estudios sobre el tomate de cáscara, enfermedades en frutos de banano, plagas en chile de agua, estudio sobre maíz nativo de Chiapas y sustentabilidad de sistemas de producción ovina.

ATENTAMENTE

Comité editorial



Núm.	Contenido	Pág.
	Artículos científicos	
1	EFEECTO DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DE TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.) VAR. RENDIDORA / TEMPERATURE EFFECT ON POSTHARVEST BEHAVIOR IN HUSK TOMATO (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.) VAR. RENDIDORA Benito Bautista Pedro, Nelly Arellanes Juárez, Reyna María de los Ángeles Gámez Hernández, Delia Anatolia Cuevas Aguirre	1-14
2	EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA DE GENOTIPOS DE BANANO A SIGATOKA NEGRA (<i>Mycosphaerella fijiensis</i> Morelet) EN EL SOCONUSCO, CHIAPAS, MÉXICO / FIELD EVALUATION OF BLACK SIGATOKA (<i>Mycosphaerella fijiensis</i> Morelet) TOLERANCE OF BANANA GENOTYPES AT SOCONUSCO, CHIAPAS, MEXICO Elizabeth Hernández Gómez, Eduardo Raymundo Garrido Ramírez, Leobardo Iracheta Donjuan, Rosa Escobedo Gracia Medrano, Canto Cache Blondy, Pedro Hernández García	15-25
3	EFEECTO ANTAGONISTA DE <i>Hyphomycetes</i> ENDÓFITOS DE <i>Taxus globosa</i> SCHLTDL. CONTRA <i>Fusarium</i> spp. Y <i>Alternaria</i> spp. PATÓGENOS DE <i>Capsicum annuum</i> / ANTAGONISTIC EFFECT OF <i>Hyphomycetes</i> ENDOPHYTES OF <i>Taxus globosa</i> SCHLTDL. AGAINST <i>Fusarium</i> spp AND <i>Alternaria</i> spp. PATHOGENS OF <i>Capsicum annuum</i> Romalda Vásquez Gutiérrez, Felipe de J. Palma Cruz, Lucía Martínez Martínez, Claudia López Sánchez	26-37
4	INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DE CHIAPAS / GENOTYPE BY ENVIRONMENT INTERACTION IN CHIAPAS MAIZE LANDRACES Jesús Martínez-Sánchez, Néstor Espinosa Paz, Yuri Villegas Aparicio	38-48
5	SUSTENTABILIDAD DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN OVINA EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA / SUSTAINABILITY OF THREE SHEEP PRODUCTION SYSTEMS IN THE CENTRAL VALLEY OF OAXACA Javier Cruz-Mendoza, Yuri Villegas-Aparicio, Martha P. Jerez-Salas, María I. Pérez-León, Julio Cesar Vinay-Vadillo, Ernesto Castañeda-Hidalgo	49-60



DIRECTORIO

Mtro. Manuel Quintero Quintero- Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Luis Néstor Coria de los Ríos- Director de Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

M. C. Oscar A. Silva Sánchez- Director (ITVO)

Ing. Vicente Castillo Benítez- Subdirección Académica (ITVO)

Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles- Encargada (DEPI-ITVO)

Mayores informes:

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Domicilio conocido

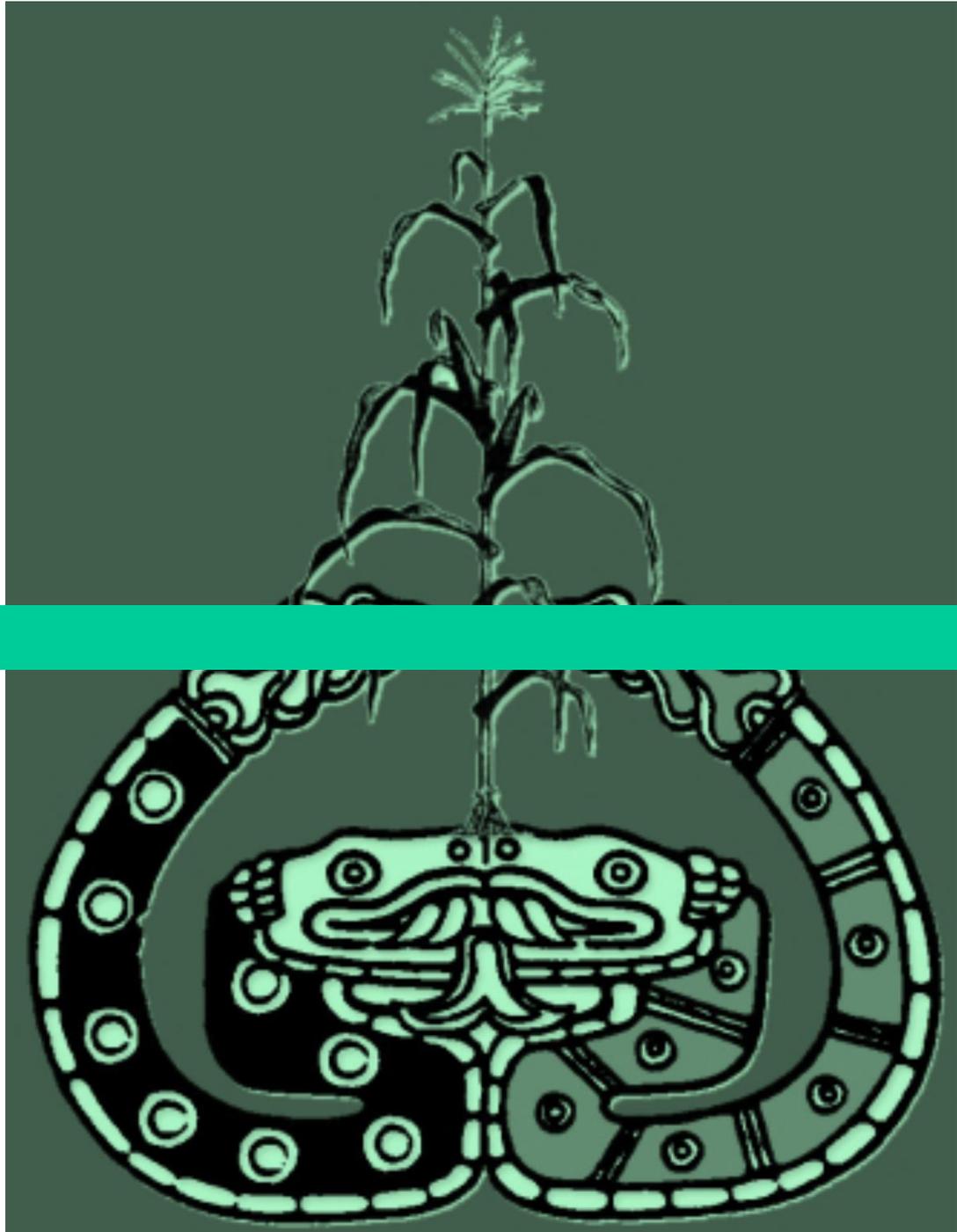
Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71230

Tel. y Fax: 01(951) 5170444, 5170788

Correo: rmae.itvo@gmail.com

<http://www.itvalleoaxaca.edu.mx/posgradoitvo/RevistaPosgrado/>



EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.) VAR. RENDIDORA¹

[TEMPERATURE EFFECT ON POSTHARVEST BEHAVIOR IN HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.) VAR. RENDIDORA]

Benito Bautista Pedro^{1§}, Nelly Arellanes Juárez¹, Reyna María de los Ángeles Gámez Hernández², Delia Anatolia Cuevas Aguirre²

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. ²Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. [§]Autor para correspondencia: (pbenito@ipn.mx).

RESUMEN

El tomate de cáscara es una especie nativa de México y Centroamérica, que se ha cultivado desde la época prehispánica en nuestro país. La demanda del fruto ha aumentado debido a sus propiedades sensoriales y alimenticias, así como por su valor comercial, de tal manera que su producción y mercado en fresco tienden a incrementarse generando una urgente necesidad por estudiar su comportamiento postcosecha. Para contribuir a este conocimiento se realizó la presente investigación con la finalidad de identificar los principales cambios químicos y fisiológicos de la variedad Rendidora, sometida a almacenamiento refrigerado a 5, 10 y 25 °C, por 18 días. Los frutos fueron seleccionados por tamaño y color, lavados con solución de hipoclorito de sodio a 25 ppm y divididos en 30 lotes de 10 frutos. Los resultados indican que las variables con mayor modificación fueron: pérdida fisiológica de peso, coordenada de color a*, resistencia a la penetración y producción de CO₂. La variedad Rendidora a temperatura de 25 °C presenta una vida de anaquel de 15-18 días; a temperatura de almacenamiento refrigerado de 10 °C puede alcanzar al menos 21 días. Es un fruto tolerante a las bajas temperaturas, sin embargo, el almacenamiento a temperaturas menores de 5 °C por más de 10 días causa daños por frío. Así, las temperaturas de almacenamiento refrigerado reducen la velocidad del metabolismo y prolongan la vida de anaquel de la hortaliza, disminuyen la pérdida fisiológica de peso y mantienen el color y la textura del pericarpio; características importantes de calidad deseables por el consumidor.

Palabras clave: *Almacenamiento refrigerado, especie nativa de México, vida de anaquel.*

ABSTRACT

Husk tomato is a native species from Mexico and Central America, which has been cultivated since pre-Hispanic times in our country. Demand for the fruit has increased due to sensory and nutritional properties, as well as their commercial value, in such a way that its production and market fresh tend to increase creating an urgent need to study their post-harvest behavior. To contribute to this knowledge this research was conducted in order to identify the main chemical

¹ Recibido: 01 de octubre de 2015.
Aceptado: 07 de marzo de 2016.

and physiological changes of Rendidora variety, subjected to storage refrigerated at 5, 10 and 25 °C, for 18 days. The fruits were selected by size and color, washed with 25 ppm sodium hypochlorite solution and divided into 30 batches of 10 fruits. The results indicate that the variables with more modifications were: physiological weight loss, color a* coordinate, resistance to penetration and CO₂ production. The variety Rendidora at temperature of 25 °C has a shelf life of 15-18 days, at temperature of refrigerated storage of 10 °C can reach at least 21 days. It is a fruit tolerant to low temperatures, however, storage at temperatures lower than 5 °C for more than 10 days causes chilling injury. Thus, refrigerated storage temperatures reduce the metabolism rate and prolong the shelf life of the vegetable, decrease physiological weight loss and maintain the color and texture of pericarp; important features of quality desired by the consumer.

Key words: *refrigerated storage, shelf life, species native to Mexico.*

INTRODUCCIÓN

De manera general, durante la maduración y almacenamiento de los frutos ocurren cambios fisiológicos, bioquímicos y estructurales que influyen en la pérdida de firmeza y la producción de compuestos químicos que generan el sabor y aroma correspondientes. El ablandamiento de los tejidos varía de acuerdo a la especie y variedad del fruto debido a la degradación de pectinas y hemicelulosas de la pared celular por acción de diferentes enzimas hidrolíticas (Karakurt y Huber, 2003). Por otra parte, las características sensoriales están ligadas a la biosíntesis, variación de concentraciones y modificaciones de varios compuestos químicos, principalmente: azúcares, ácidos, taninos y aceites esenciales (Dávila-Aviña *et al.*, 2011; Torres *et al.*, 2013). Estas características, principalmente de olor y sabor, dependen de la variedad y momento de la maduración de cada especie y de la percepción de cada consumidor, por lo que juegan un papel central en la calidad de los frutos y hortalizas (Kader, 2008).

El almacenamiento de frutas y vegetales a bajas temperaturas presenta ventajas, entre las que resaltan la reducción de la velocidad del metabolismo por la disminución de la respiración y la producción de etileno, la reducción de la pérdida de agua por transpiración, el retardo de los procesos de maduración, senescencia, disminución del crecimiento microbiano y el deterioro ocasionado por ellos (Paull, 1999; Žnidarčič *et al.*, 2010).

El tomatillo o tomate de cáscara, es una especie nativa de México y Centroamérica (Santiaguillo-Hernández y Blas-Yáñez, 2009), que se ha cultivado desde la época prehispánica en nuestro país. La demanda del fruto se incrementa debido a sus propiedades sensoriales y alimenticias, así como a sus cualidades funcionales y terapéuticas provenientes de su contenido de carotenoides, fenoles y ácido ascórbico, entre otros (Ibave-González y Ochoa, 2007; González-Mendoza *et al.*, 2011). No obstante la gran diversidad de poblaciones de esta especie, el conocimiento del germoplasma existente en el país es escaso, derivado de lo anterior, el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) tiene registradas 11 variedades mexicanas: Diamante, Manzano Tepetlixpa, Milpero Tetela, Potrero, Puebla SM3, Rendidora, Salamanca, Tamazula SM3, Tecozautla 04, Yema de Huevo, y CHF1-Chapingo.

La Norma Mexicana NMX-FF-54-1982.- “Productos alimenticios no industrializados para uso humano-hortalizas en estado fresco–tomate con cáscara”, es una herramienta para estandarizar la

calidad del fruto, sin embargo, no considera parámetros de color, resistencia a la penetración, acidez, azúcares y valor nutricional, propiedades importantes para definir la calidad del producto. Por otro lado, existe poca información sobre el comportamiento postcosecha de este fruto, siendo esto de gran importancia para los consumidores, productores y comercializadores. La escasa información disponible sugiere que los valores de: peso, tamaño, firmeza, acidez y sólidos solubles, pueden ser utilizados como criterios para definir la calidad del fruto (Torres-Panduro, 1998; Santiaguillo-Hernández *et al.*, 2004).

Con relación a los cambios químicos y fisiológicos en la etapa de postcosecha, la información es aún más escasa. Estudios de Cruz-Álvarez *et al.* (2012) en frutos de la selección CHF1-Chapingo con y sin cáliz, almacenados a temperaturas de 4 y 20 °C, no manifestaron cambios fisiológicos importantes por la presencia o ausencia del cáliz. Los cambios en la firmeza, pérdida de peso, contenido de clorofila y color, estuvieron relacionados con las temperaturas de almacenamiento, más que con la presencia o ausencia del cáliz. Los frutos almacenados a 4 °C presentaron el mayor efecto benéfico al disminuir la pérdida de peso, tasa de respiración y producción de etileno, así como para mantener sin cambios la firmeza, contenido de clorofila, color y sólidos solubles. Por su parte, Cantwell *et al.* (1992) reportaron que el almacenamiento del fruto de la variedad Rendidora a temperaturas iguales o mayores de 10 °C provoca pérdidas de peso en el fruto y color, e incrementa su nivel de producción de etileno, mientras que los frutos almacenados a 2.5 °C por tres semanas presentan síntomas de daño por frío.

Dada la importancia que ha cobrado el cultivo de tomate de cáscara en México y la posibilidad de exportación, es necesario sustentar el proceso de producción en variedades de alto potencial productivo, con óptimas características de calidad del producto, particularmente en color, tamaño y forma del fruto, además de cualidades fisiológicas adecuadas que permitan soportar condiciones de manejo y de vida de anaquel, así como mantener sus propiedades funcionales diferenciadas.

Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura sobre los principales parámetros que ayudan a definir la calidad y el comportamiento postcosecha de frutos de tomate de cáscara variedad Rendidora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se seleccionaron trescientos frutos de tomate de cáscara variedad Rendidora, cultivados en un ambiente protegido, ubicado en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, dependiente del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN- Unidad Oaxaca), en el ciclo otoño-invierno 2014. Se consideraron como índices de cosecha el llenado del fruto y el tiempo transcurrido desde el amarre, al momento de cosecha. Los frutos se seleccionaron por similitud en tamaño y color, y se llevaron al laboratorio, donde se les eliminó el cáliz, se lavaron con agua y desinfectaron con una solución de cloro de 25 ppm y se secaron a temperatura ambiente por 12 h.

Establecimiento del experimento

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3 x 10, los factores evaluados fueron: temperatura de almacenamiento, con tres niveles (5, 10 y 25 °C) y tiempo de almacenamiento, con diez niveles (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 y 18 días).

Se trabajó con un total de 30 tratamientos con 10 frutos cada uno, los cuales se colocaron en charolas de plástico y se almacenaron a las temperaturas predeterminadas (5, 10 y 25 °C). Cada dos días se retiraron 10 frutos de cada uno de los tratamientos, los almacenados a 10 y 5 °C, se dejaron 8 h a temperatura ambiente y posteriormente se evaluaron las variables de respuesta: pérdida fisiológica de peso, resistencia a la penetración, sólidos solubles, color y pH.

Métodos de análisis físicos, químicos y fisiológicos

Los análisis físicos fueron: a) Pérdida fisiológica de peso, se realizó por el método gravimétrico del AOAC (2012), con una balanza analítica Marca Mettler pe 600. Color.- El color externo del fruto fue evaluado mediante la medición de la coordenada a^* , del sistema CIELAB de acuerdo al método de McGuirre (1992), con un colorímetro PCE-TCR 200, previamente calibrado con los patrones de color blanco y negro, donde: $-a^*$ = verde, y $+a^*$ = rojo. b) Resistencia a la penetración. Este parámetro se determinó mediante un medidor de textura marca Stable Micro Systems, modelo TA-TX2i con una sonda de 0.5 cm de diámetro en dos puntos extremos del eje ecuatorial de cada fruto y los resultados se expresaron en Newtons (N) (Harker *et al.*, 1997).

Los análisis químicos se realizaron en: a) Sólidos solubles (SS), donde el contenido de sólidos solubles se midió con un refractómetro marca Atago modelo Automatic y fue reportado como °Brix, de acuerdo al método del AOAC (2012). b) pH utilizando la metodología del AOAC (2012), y un potenciómetro marca Hanna modelo pH 21.

Análisis fisiológicos: Producción de CO₂, se utilizó el método estático (Kader, 2000). En un recipiente hermético de 1000 mL de capacidad, adaptado a un medidor de CO₂ marca Tes 1370 DRIR CO₂ Meter, se colocó un fruto. Después de 1 h se tomó la lectura del equipo, la cual se reporta en % CO₂.

Análisis de resultados

A los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza y la separación de medias se con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) usando el programa Statgraphics Centurion XVI.II (Statistical Graphics Corp.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida fisiológica de peso

Con respecto a la pérdida fisiológica de peso en frutos, se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) por efecto de las temperaturas utilizadas durante el almacenamiento. Los frutos almacenados a 5 °C presentaron la pérdida fisiológica de peso promedio más baja (2.27 %),

seguidos por los almacenados a 10 °C con un 4.27 % de pérdida de peso, mientras que los almacenados a 25 °C obtuvieron la mayor pérdida de peso con 5.35 % (Figura 1). Esto sugiere que los frutos almacenados a temperaturas mayores o iguales a 10 °C mantienen un ritmo metabólico dentro del rango fisiológico normal, incluyendo los procesos de respiración y transpiración. Los frutos que se mantuvieron a 5 °C redujeron su metabolismo significativamente, manifestando menor deshidratación y por ende mejor presentación comercial.

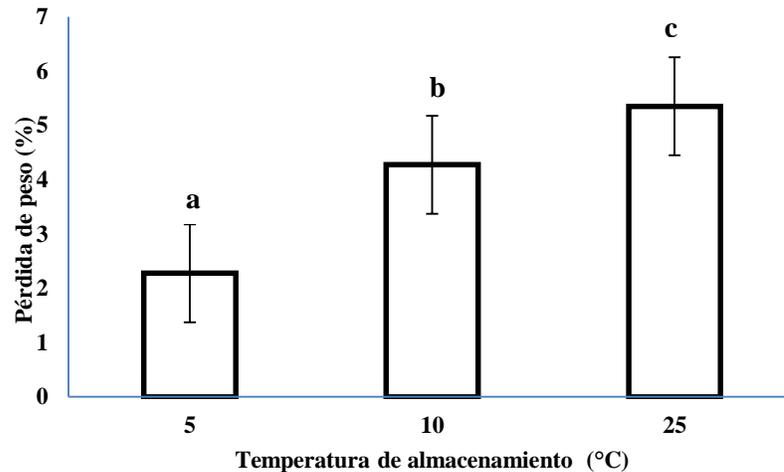


Figura 1. Efecto de la temperatura sobre la pérdida fisiológica de peso en tomate de cáscara var Rendidora almacenado a diferentes temperaturas. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Estos datos son acordes a los reportados por Cantwell *et al.* (1992), quienes observaron pérdidas de peso altas, en frutos de la misma variedad sembrados a campo abierto, y almacenados a 10 y 20 °C, comparados con frutos almacenados a 2.5 y 5 °C. Estos resultados también son soportados por los encontrados por García-Sahagún *et al.* (2007) para frutos de la variedad “Tamazula” almacenados a 25 °C, pero no con los que se almacenaron a 10 °C, los cuales presentaron escasa pérdida fisiológica de peso.

El análisis estadístico de la pérdida de peso, en función del tiempo de almacenamiento mostró también diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Los valores de pérdida de peso variaron: de cero, al inicio del almacenamiento, hasta un promedio de 8.1 % para el día 18 de almacenamiento (Figura 2). Esto significa mayor deshidratación del fruto a medida que transcurren los días de almacenamiento, con lo cual, la pérdida de calidad comercial también se incrementa. Comportamiento similar se ha reportado para uchuva (*Physalis peruviana* L.), al almacenar frutos a 18 °C, con distinto estado de madurez (Ávila *et al.*, 2006).

Cambios en la coordenada de color a*

La cuantificación del color verde, medido por el parámetro a*, mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por el efecto de la temperatura de almacenamiento. Los frutos presentaron una tendencia hacia el cambio de color verde a amarillo, los almacenados a 5 °C tuvieron valores promedio de -

8.92, los mantenidos a 10 °C presentaron un cambio intermedio de -8.17, en tanto que los almacenados a 25 °C de -7.33. El análisis estadístico ($p \leq 0.05$) indica que no existen diferencias para este parámetro en frutos almacenados a 5 o a 10°C, pero si para los almacenados a 25°C (Figura 3). Lo anterior hace suponer que la temperatura de almacenamiento de los frutos altera el metabolismo, reflejado en la pérdida de clorofila y la aparición de otros pigmentos del exocarpio del tomate de cáscara. No existen datos específicos con relación al color medido mediante el parámetro a^* y sólo algunos autores refieren expresiones de color. Catwell *et al.* (1992), observaron mayores pérdidas de color verde en frutos de esta misma variedad almacenados a 10 y 20 °C en comparación a los almacenados a 5 y 2.5 °C. Cruz-Álvarez *et al.* (2012), en frutos de la variedad CHF1-Chapingo, almacenados a temperatura de 4 y 20 °C, reportaron que los cambios en el contenido de clorofila y color estuvieron relacionados con las temperaturas de almacenamiento.

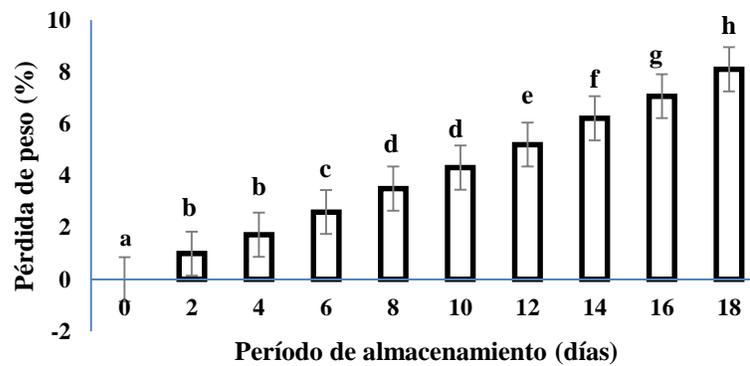


Figura 2. Efecto del periodo de almacenamiento sobre la pérdida fisiológica de peso en tomate de cáscara. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

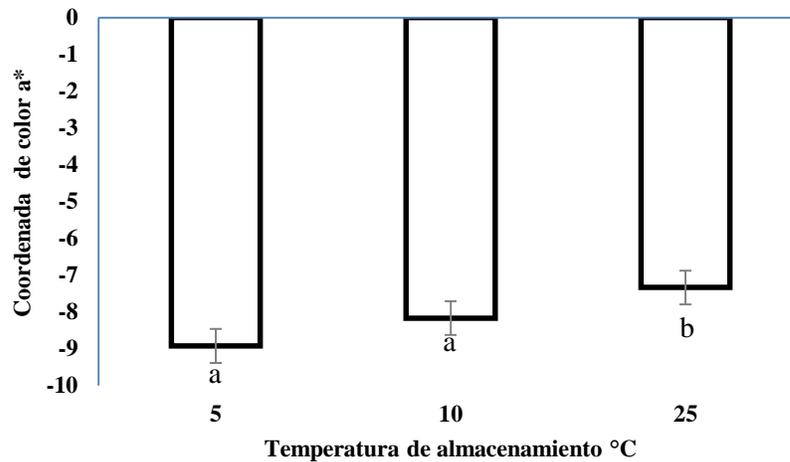


Figura 3. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la coordenada color a^* en tomate de cáscara. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Otro factor que contribuyó al cambio de color fue el tiempo de almacenamiento, encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los promedios, para los diferentes tiempos. Se presentaron valores promedio de -10.92, al tiempo cero de almacenamiento; y de -9.33 y de -8.15, para los días 2, 4 y 6; y para los días 8 y 10, respectivamente. Finalmente se presentaron valores de -5.10 a los 18 días de almacén, como consecuencia de la pérdida de clorofila (Figura 4). Cambios similares en el color, manifestados por el valor de cromaticidad C^* , se reportaron para la variedad mejorada “CHF1-Chapingo” por Cruz-Álvarez *et al.* (2012).

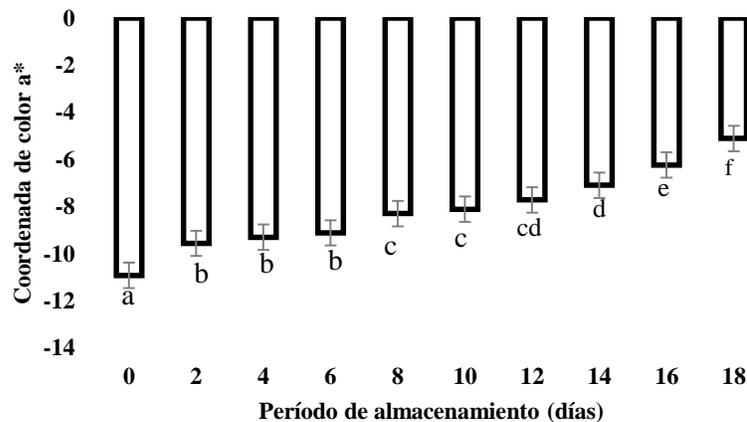


Figura 4. Efecto del periodo de almacenamiento sobre la coordenada de color a^* en tomate de cáscara. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Pérdida de resistencia a la penetración

Con respecto a la pérdida de resistencia a la penetración en función de la temperatura de almacenamiento, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Los frutos almacenados a 25 °C presentaron una resistencia a la penetración promedio de 18.6 N, mientras que los conservados a 10 °C que alcanzaron 20.8 N, en tanto que los almacenados a 5 °C tuvieron un valor de 24.5 N. Estos resultados indican que el nivel metabólico aumenta en función de la temperatura (Figura 5). Los datos obtenidos son similares a los reportados por Cruz-Álvarez *et al.* (2012), quienes al almacenar frutos de la variedad CHF1 a 4 y 20 °C, encontraron que la pérdida de resistencia está directamente relacionada con la temperatura de almacenamiento. Por otra parte, García-Sahagún *et al.* (2007) reportaron valores residuales de resistencia a la penetración de 1.21 y 0.91 kgf (11.8 y 8.9N), respectivamente, para frutos almacenados por 22 días a 10 y 20 °C de la variedad “Tamazula”.

La resistencia a la penetración fue modificada por el periodo de almacenamiento, el análisis estadístico de los datos muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre los promedios de los valores correspondientes a los diferentes periodos de almacenamiento, con una relación directa entre la pérdida de resistencia a la penetración y el tiempo de almacenamiento (Figura 6). La resistencia a la penetración se relaciona directamente con la pérdida de la firmeza del fruto, siendo uno de los parámetros de calidad comercial más importantes a considerar. Los resultados encontrados tienen la misma tendencia que los reportados por Cruz-Álvarez *et al.* (2012), para tomate de cáscara variedad CHF1-Chapingo, en la cual los frutos pasaron de un valor inicial de

18.24 a 12.08 y a 8.72 N después de haber sido almacenados por 25 días a temperaturas de 4 y 20 °C respectivamente. Efectos similares se describen también para los frutos de guayaba, mandarina y tomate, mantenidos por 12 días a 25°C y 81% de HR.

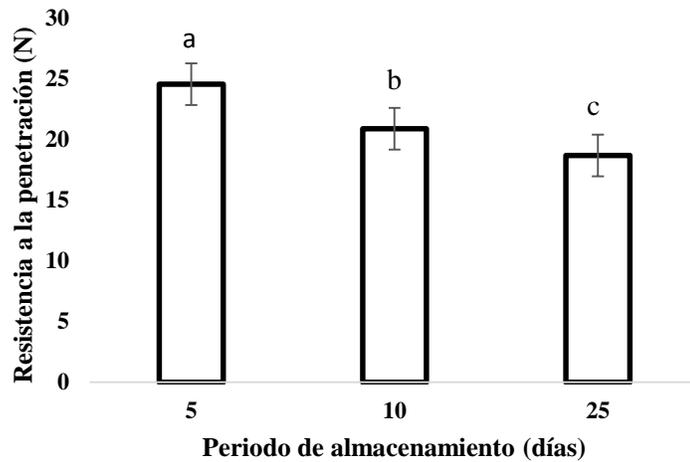


Figura 5. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la resistencia a la penetración en tomate de cáscara. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

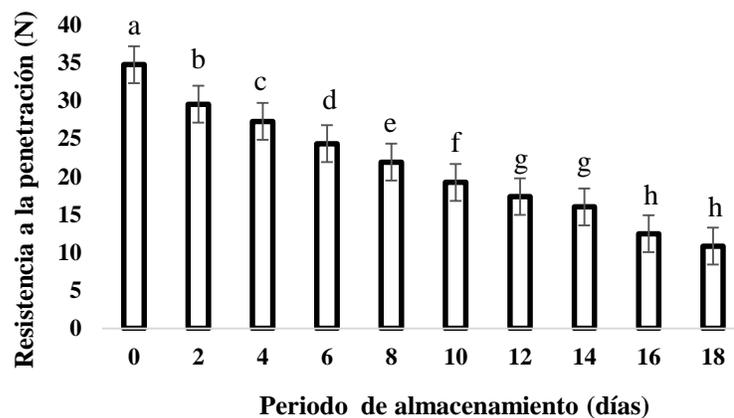


Figura 6. Efecto del periodo de almacenamiento sobre la resistencia a la penetración en tomate de cáscara. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Sólidos solubles (SS)

El análisis estadístico de los datos indica que no existen diferencias significativas ($p \geq 0.05$), por efecto de la temperatura de almacenamiento, estableciéndose una media de 5.91 °Brixte valor es similar al reportado por Cruz-Álvarez *et al.* (2012), para la variedad CHF1- Chapingo (6.32 °Bx)

y también se encuentra dentro del rango de 5.58 a 6.56 °Brix, reportado por Jiménez-Santana *et al.* (2012).

Considerando la pérdida fisiológica de peso de los frutos, aparentemente las diferencias de sólidos solubles totales son menores, y se deduce que esta variable no presenta afectación debido al relativo equilibrio entre los azúcares utilizados en la respiración y los liberados por la hidrólisis de los polisacáridos de la pared celular manifestada en la pérdida de resistencia a la penetración. Sin embargo, el contenido de SS se modificó por el período de almacenamiento. El análisis estadístico muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$), formando tres grupos de medias: el primero con valor de 6.11 °Brix que representa la evaluación inicial, el segundo formado por el periodo de 2 a 14 días de almacenamiento con un promedio de 5.94 °Brix, y el tercero con un valor promedio de 5.77 °Brix para los días 16 y 18 de almacenamiento (Figura 7). El cambio en el contenido de SS sigue una tendencia sigmoidea similar al fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.), pero con contenidos menores a los de este fruto (Ávila *et al.*, 2006). Los datos obtenidos coinciden con los obtenidos Cruz-Álvarez *et al.* (2012) para la variedad CHF1- Chapingo, quienes reportaron cambios de 6.21 a 5.99 °Brix, después de 25 días de almacenamiento en frutos almacenados a 4 y 20 °C, respectivamente.

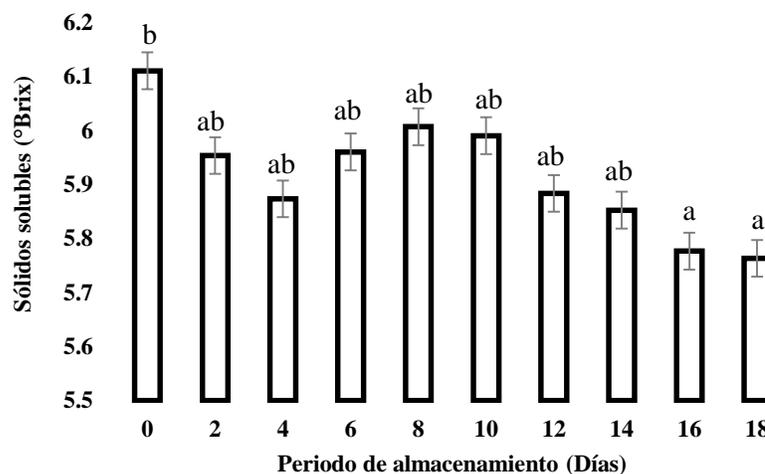


Figura 7. Efecto del periodo de almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles en tomate de cáscara. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

pH

El pH de los frutos mostró cambios significativos ($p \leq 0.05$), con relación a la temperatura de almacenamiento, formando tres grupos de medias: la primera que corresponde a la temperatura de 5 °C con un valor de pH de 3.50, la segunda, con un valor de 3.57 que une las medias de pH de los frutos almacenados a 5 y 10 °C, y la tercera con un valor promedio de pH de 3.61 que representa a los frutos mantenidos a 25 °C (Figura 8). Los valores reportados de pH para esta especie de fruto recién cortado se encuentran entre 3.78-3.88 (Jiménez-Santana *et al.*, 2012).

Las diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) del pH también fueron modificadas con respecto al tiempo de almacenamiento. El día de corte, las muestras presentaron un valor de pH de 3.81, para pasar

entre los días 6 a 8 entre 3.17 y 3.40, y para los días 10 y 18 los valores promedio fueron de 3.41 (Figura 9). Este cambio sugiere nueva síntesis de ácidos orgánicos entre los días 4 a 6, en tanto que a partir del día 8 hasta el final del periodo de almacenamiento, estos ácidos se degradan, lo cual se traduce en un valor de pH, similar al que se tenía al inicio del almacenamiento (Ramírez-Godina *et al.*, 2013).

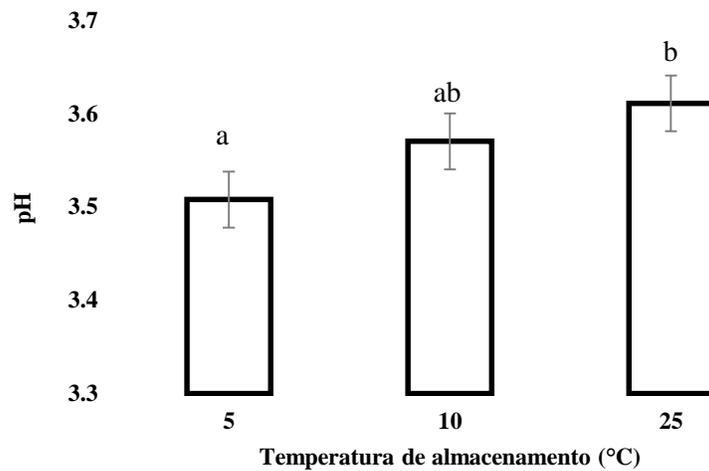


Figura 8. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el pH de tomate de cáscara. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

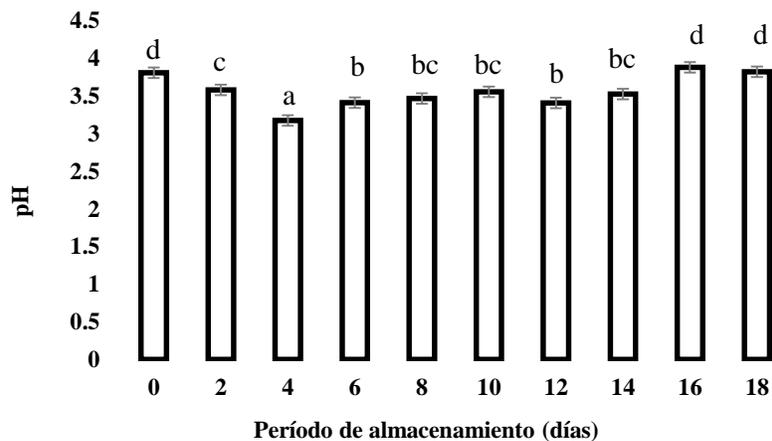


Figura 9. Efecto del periodo de almacenamiento sobre el pH de tomate de cáscara. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Producción de CO₂

No existe un consenso sobre el patrón de metabolismo respiratorio de los frutos de *Physalis ixocarpa* L., debido posiblemente a la diversidad genética y al grado de maduración en el momento de corte y de medición de CO₂, por lo que se reconoce que pueden existir las variantes climatéricas y no climatéricas. Los datos obtenidos en este trabajo, para esta variedad, indican un comportamiento climatérico para frutos almacenados a temperaturas de 25 y 10°C. Los frutos almacenados a 25 °C, presentan un valor máximo de CO₂, al tercer día de almacenamiento (0.39 ± 0.04 %CO₂), mientras que los frutos almacenados a 10°C presentan este valor máximo (0.29 ± 0.09 %CO₂), en el día 6. Los frutos que permanecieron a 5 °C no mostraron un incremento claro (Figura 10). Esto hace suponer que la temperatura de 5 °C se encuentra cercana a una temperatura crítica en la cual los frutos pueden perder su capacidad para mantener el metabolismo. Cantwell *et al.* (1992), mencionaron que los frutos de tomatillo presentan valores de 18-25 μL de CO₂ g⁻¹ h⁻¹ a 20 °C para luego decrecer en función al tiempo de almacenamiento, lo cual es característico de un patrón no climatérico. Este mismo patrón lo reportaron García-Sahagún *et al.* (2007) para frutos de la variedad Tamazula almacenados a 10 y 25 °C, pero con valores entre 45 y 55 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

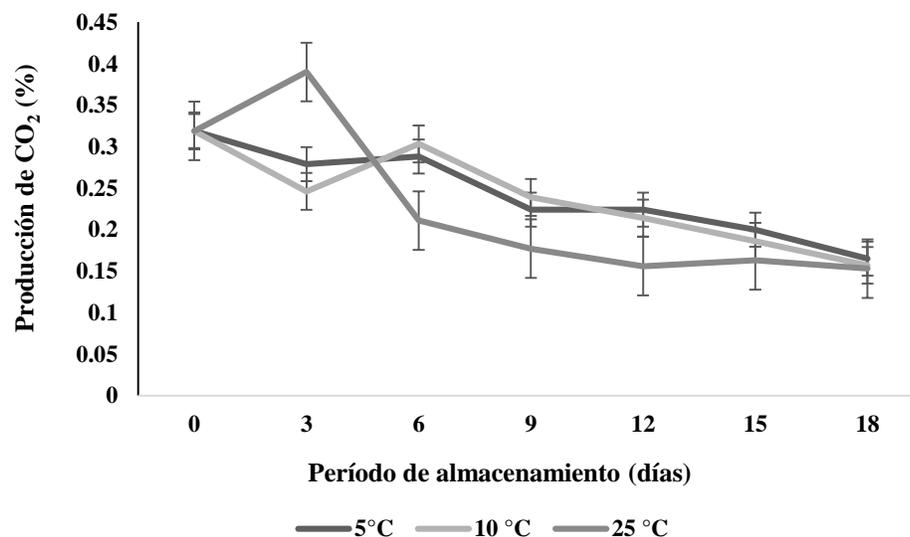


Figura 10. Producción de CO₂ en tomate de cáscara variedad Rendidora almacenado a diferentes temperaturas. Barras verticales representan la desviación estándar.

Relación entre variables

El análisis de correlación entre las variables (Cuadro 1), muestra coeficientes que conectan variables relacionadas linealmente, entre los cuales se observa que la temperatura, tiene altos coeficientes con la pérdida de peso, la coordenada de color a* y textura y en menor proporción con el pH, estos parámetros expresan la madurez del tomate de cáscara. El tiempo de almacenamiento está relacionado con todas las variables dependientes medidas, pero con coeficientes menores.

Cuadro 1. Coeficientes de correlación entre temperatura y tiempo de almacenamiento con las características físicas y químicas en tomate de cáscara.

	Temp	tiempo	PP	a*	Tex	SS	pH
Temp		0.0000	0.4151	0.3426	-0.3011	-0.0607	0.1440
*		1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2945	0.0125
tiempo	0.0000		0.8430	0.8365	-0.9065	-0.2113	0.2405
*	1.0000		0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
PP	0.4151	0.8430		0.8906	-0.9002	-0.2097	0.3342
*	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0003	0.0000
a*	0.3426	0.8365	0.8906		-0.8771	-0.2130	0.2806
*	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.0002	0.0000
Tex	-0.3011	-0.9065	-0.9002	-0.8771		0.2081	-0.2294
*	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		0.0003	0.0001
SS	-0.0607	-0.2113	-0.2097	-0.2130	0.2081		-0.0187
*	0.2945	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003		0.7466
pH	0.1440	0.2405	0.3342	0.2806	-0.2294	-0.0187	
*	0.0125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.7466	

*Valor de p

CONCLUSIONES

La temperatura y tiempo de almacenamiento afectan las variables físicas y químicas que definen la calidad del fruto de tomate de cáscara y su periodo de almacenamiento. De acuerdo con los resultados, el tomate de cáscara tiene una vida de anaquel de 15-18 días a temperatura ambiente y de al menos 21 días a temperaturas menores o iguales a 10 °C. Este fruto es tolerante al frío, sin embargo, al ser almacenado a temperaturas menores a 5 °C por más de 10 días, presenta características similares a las reportadas para el mismo fruto, como daños por frío. Los principales cambios durante el almacenamiento de este fruto, en las condiciones probadas, se manifiestan en la pérdida de peso, cambios en la coordenada de color a*, pérdida de resistencia a la penetración y en la producción de CO₂.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parte del proyecto SIP20131559: “Calidad del fruto y cambios químicos y fisiológicos en postcosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.)”, financiado por el Instituto Politécnico Nacional.

LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2010. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. William Horwitz (Ed). 18a edition. Gaithersburg, MD, USA.
- Ávila, J. A., P. Moreno, G. Fischer y D. Miranda. 2006. Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18°C. *Acta Agronómica (Colombia)* 55(4): 29-38.
- Cantwell, M. J., Flores Minutti and A. Trejo González. 1992. Developmental changes and postharvest physiology of tomatillo fruit (*Physalis ixocarpa* Brot). *Scientia horticulturae* 50: 59-70.
- Cruz-Álvarez, O., Ma. T. Martínez-Damián, J. E. Rodríguez-Pérez, Ma. T. Colinas-León, E. del C. Moreno-Pérez. 2012. Conservación postcosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(3): 333-344.
- Dávila-Aviña, J. E. de J, G. A. González-Aguilar, J. F. Ayala-Zavala, D. R. Sepúlveda y G. I. Olivas. 2011. Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34 (2): 133-143.
- García-Sahagún, M.L., A.N. Avendaño-López, J.N. Mercado-Ruiz Y L. Robles-Osuna. 2007. Calidad postcosecha de frutos de tomate de cáscara (*Physalis spp.*) durante almacenamiento. En *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. XVIII Seminario de la Investigación Científica*. S. Carvajal y E. Pimienta Barrios (Eds.). Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara, México.
- González-Mendoza, D, D. Ascencio-Martínez, A. HauPoox, V. Méndez-Trujillo, O. Grimaldo-Juárez, J. F. Santiaguillo-Hernández, L. Cervantes-Díaz and S. M. Avilés-Marín. 2011. Phenolic compounds and physiochemical analysis of *Physalis ixocarpa* genotypes. *Scientific Research and Essays* 6(17): 3808-3814.
- Ibave-González J. L. y M. Ochoa. 2007. Cuantificación de los diferentes folatos presentes en tomatillo (*Physalis ixocarpa*) por cromatografía de líquidos de alta resolución. *Revista Tecnociencia* 1(1): 9-16.
- Jiménez-Santana, E., V. Robledo-Torres, A. Benavides-Mendoza, F. Ramírez-Godina, H Ramírez-Rodríguez y E. de la Cruz-Lázaro. 2012. Calidad de fruto de genotipos tetraploides de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 28(2): 153-161.
- Kader, A.A. 2000. Methods of gas mixing, sampling and analysis. In: Kader, A.A. (Ed.) *Postharvest technology of horticultural crops*. Publication No. 3311. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, CA. 3^a ed. pp. 145-148.
- Kader, A. A. 2008. Perspective flavor quality of fruits and vegetables. *J. Sci Food Agric.* 88: 1863-1868.
- Karakurt Y. and D. J. Huber. 2003. Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature

- storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 28: 219-229.
- McGuire, M. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hort Science* 27(12): 1254-1255.
- Paull, R. E. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology* 15: 263-277.
- Ramírez-Godina, F., V. Robledo-Torres; R. Foroughbakhch- Pournabav; A. Benavides-Mendoza; J. L. Hernández-Piñero; M. H. Reyes-Valdes and M. A. Alvarado-Vázquez. 2013. Yield and fruit quality evaluation in husk tomato autotetraploids (*Physalis ixocarpa*) and diploids. *AJCS* 7(7): 933-940.
- Santiaguillo-Hernández, J. F, T. Cervantes-Santana y A. Peña Lomelí. 2004. Selección para rendimiento y calidad de fruta de cuzas planta x planta entre variedades de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27 (1): 84-91.
- Santiaguillo-Hernández, J. F y S. Blas-Yáñez. 2009. Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola* 43: 81-86.
- Torres, R.M., Pérez, Omar A. and R.D. Andrade. 2013. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica* 24(3): 51-56.
- Torres-Panduro, V. 1998. Componentes de calidad en cuarenta materiales de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) Tesis profesional que para obtener el título de Ingeniero Agrónomo fitotecnista. Universidad de Guadalajara. Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México.
- Žnidarčič D., D. Ban, M. Oplanić, L. Karić and T. Požrl. 2010. Influence of postharvest temperatures on physicochemical quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8 (1): 21-25.

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA DE GENOTIPOS DE BANANO A SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) EN EL SOCONUSCO, CHIAPAS, MÉXICO¹

[FIELD EVALUATION OF BLACK SIGATOKA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) TOLERANCE OF BANANA GENOTYPES AT SOCONUSCO, CHIAPAS, MEXICO]

Elizabeth Hernández Gómez¹, Eduardo Raymundo Garrido Ramírez^{2§}, Leobardo Iracheta Donjuan¹, Rosa Escobedo Gracia Medrano³, Canto Cache Blondy⁵, Pedro Hernández García⁴

¹INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa, Km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas, CP 30870, México. ²INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas, Km. 3 Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas, CP 29140, México. ³CICY Departamento: Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas Calle 43 No. 130 Colonia Churburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán CP 97200, México. ⁴CICY Unidad de Biotecnología. [§]Autor para correspondencia: (garrido.eduardo@inifap.gob.mx).

RESUMEN

La sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) es una enfermedad destructiva y su control requiere de aplicaciones periódicas de fungicidas. Los genotipos tolerantes son una estrategia económica y sostenible para el combate de esta enfermedad. El objetivo de este trabajo fue evaluar en campo la tolerancia a sigatoka negra de siete genotipos de plátano (Pisang Mas, Fougamou, Pisang Awak, FHIA 23, Enano Gigante Clones Oaxaqueño, Francés y Teapa). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco repeticiones y unidad experimental de seis plantas; la severidad de la enfermedad se analizó con la escala de Stover modificada por Gauhl, la determinación de Hoja más joven manchada se efectuó con la escala de Fouré. Pisang Awak, Fougamou y FHIA 23 presentaron un mayor nivel de tolerancia, con un progreso lento la enfermedad; en hoja más joven manchada, Pisang Awak mostró entre 7 y 8 hojas sanas. Pisang Awak y Fougamou presentaron en promedio 10 hojas por planta. Enano Gigante Teapa, Clon Francés y Clon Oaxaqueño presentaron menor altura de planta, número de hojas, días a floración y a cosecha. Respecto a longitud, grosor y peso del fruto, Enano Gigante Teapa, Clon Francés y Clon Oaxaqueño, fueron los mejores.

Palabras clave: *hongo, plátano, sigatoka.*

ABSTRACT

Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) is a destructive disease and its control requires regular applications of fungicides. Tolerant genotypes are an economical and sustainable strategy for combating this disease. The aim of this study was to evaluate the field tolerance of seven banana genotypes (Pisang Mas, Fougamou, Pisang Awak, FHIA 23 Enano Gigante Clones Oaxaqueño, Francés y Teapa) to black sigatoka. A completely randomized block design with five replicates and an experimental unit of six plants was used. Disease severity was analyzed with the Stover scale modified by Gauhl; the youngest spotted leaf was quantified with Fouré scale.

¹ Recibido: 20 de noviembre de 2015.
Aceptado: 29 de enero de 2016.

Overall, Pisang Awak, Fougamou and FHIA 23 had a higher tolerance level, with slow disease progress. On Youngest spotted leaf, Pisang Awak had between 7 and 8 healthy leaves. Pisang Awak and Fougamou had an average of 10 leaves per plant. Enano gigante Teapa, Clon Frances y Clon Oaxaqueño had lower plant height, leaf number, days to flowering and harvest. Regarding length, thickness and weight of the fruit, Enano gigante Teapa, Clon Frances y Clon Oaxaqueño were the best.

Key words: *fungi, banana, sigatoka.*

INTRODUCCIÓN

El plátano o banano (*Musa* spp.) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, se considera un alimento básico y un producto de exportación, contribuye a la seguridad alimentaria de millones de personas y proporcionan ingreso y empleo a las poblaciones rurales, además ocupa la cuarta posición después maíz, trigo y arroz (FAO, 2002; Jones, 2000). En México se cultivan 76,725 ha con una producción de 2150,519 t ha⁻¹. Chiapas es el productor más importante a nivel nacional con una superficie de 23,456 ha, una producción de 701,394 t ha⁻¹, y un rendimiento promedio de 30 t ha⁻¹ (SIAP, 2015). La Región económica Soconusco es la más importante zona bananera (Orozco, 1998).

Una de las limitantes a nivel mundial que presenta este cultivo es la sigatoka negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, la cual se identificó por primera vez en Honduras en el año de 1972 (Stover y Dickson, 1976). La sigatoka negra es una enfermedad foliar destructiva que ataca hojas, induciendo manchas foliares y clorosis, que disminuyen la capacidad fotosintética y promueve la maduración prematura de la fruta, lo cual disminuye la calidad y puede provocar pérdidas del 50% o más del rendimiento (Ploetz, 2001; Okole y Schulz, 1997; Craenen y Ortiz, 1996; Orozco *et al.*, 1996).

Para el control de esta enfermedad en Chiapas, se realiza control cultural mediante saneo de hojas afectadas, nutrición, control de maleza, drenaje, así como numerosas aplicaciones periódicas de fungicidas de contacto, sistémicos y traslaminares que van desde 48 a 52 aplicaciones al año lo que da como resultado el incremento de los costos de producción, tomando en cuenta que los gastos en agroquímicos oscilan entre el 30 0 40% de los costos totales lo cual representa entre 500 a 1,100 dólares anuales por hectárea (Orozco y Orozco, 2006; Romero y Sutton, 1997).

Aunque el uso de productos químicos representa la medida más eficaz momentáneamente, también presenta desventajas ambientales por la acumulación de residuos en el ambiente, destrucción de flora y fauna, afecciones en la salud por intoxicaciones al hombre (Churchill, 2011; Vega, 2002; Chin *et al.*, 2001; Jiménez, 1988), además que puede incrementarse la resistencia del patógeno a fungicidas sistémicos utilizados ordinariamente como los benzimidazoles, triazoles y estrobirulinas, (Fullerton y Tracey, 1984, Romero y Sutton, 1997; Romero y Sutton, 1998; Sierotzki, *et al.*, 2000; Marín *et al.*, 2003; Pérez, *et al.*, 2003; FRAC, 2010; Martínez, 2012)

En la búsqueda de alternativas para el control de la sigatoka negra de manera más amigable, se han realizado diversos estudios como el control biológico por medio de *Trichoderma* (Michel, 2001; Nelson, 1991), y bacterias del género *Bacillus* (Pérez-García *et al.*, 2011) los cuales parecen ser prometedores, otra estrategia económica y ambientalmente sostenible en el combate de esta enfermedad es la utilización de genotipos tolerantes o resistentes al hongo, lo cual se hace tradicionalmente evaluando la resistencia en campo, tal es el ejemplo de los diferentes clones FHIA's (Rowe, 1998).

De acuerdo a lo anterior es importante realizar trabajos de investigación que contribuyan en el control de esta enfermedad, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar en campo la respuesta de siete genotipos de banano (Pisang Mas, Fougamou, Pisang Awak, FHIA-23 y Enano Gigante Teapa, Clon Oaxaqueño y Clon Francés) y seleccionar los genotipos que presenten características de tolerancia a *M. fijiensis* así como conocer las características fenotípicas de los genotipos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se desarrolló en la Estación Experimental “Los Alpes”, de la Asociación Agrícola de Productores de Plátano del Soconusco (AAPPS), ubicada en el municipio de Tapachula, Chiapas, durante el 2011-2012. Para el establecimiento se usaron genotipos provenientes de diferentes laboratorios de biotecnología en el país: Laboratorio de biotecnología del CYCY en Yucatán: Pisang Awak, Fougamu y Enano Gigante Teapa; INIFAP CERI en Chiapas: Clon Oaxaqueño, Fhia-17 y Clon Francés; y finalmente Pisang Mas o Dominico proveniente del INIFAP Colima. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco repeticiones, la unidad experimental estuvo formada por seis plantas por bloque.

Evaluación de sigatoka negra

La severidad de la sigatoka negra se analizó con la escala de Stover modificada por Gauhl. La determinación de hoja más joven manchada (HMJM) se efectuó con la escala de Fouré. El número de hojas se contó partiendo de la hoja más joven (Fouré, 1985).

Evaluación de desarrollo y producción

Las evaluaciones se iniciaron dos meses después del trasplante de las plántulas en campo y se realizaron cada 15 días. Se tomaron datos de desarrollo y crecimiento de las plantas como: diámetro del pseudotallo a la altura del pecho, altura de la planta, altura del hijuelo, número de hojas a la floración y a la cosecha, número de días a floración y a la cosecha, para el caso de productividad: días del periodo de maduración, días a cosecha, peso del racimo, número de manos por racimo, número de dedos por mano y longitud, grosor y peso del dedo central de la tercera mano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de sigatoka negra

En el Cuadro 1 pueden observarse los datos sobre el desarrollo de la sigatoka negra en los genotipos evaluados, se presentan datos de hoja con pizca, hoja más joven con mancha y grado de severidad de la sigatoka negra. En general, se destaca la resistencia de los clones Pisang Awak, Fougamu y FHIA 23, lo cual coincide con lo reportado por diversos autores tanto para el clon PisangAwak (Ploetz *et al.*, 2007; Leiva-Mora *et al.*, 2015), como para el clon FHIA 23, el cual ha mostrado ser resistente tanto en condiciones *in vitro* (Twizeyimana *et al.*, 2007), de invernadero (Cuellar *et al.*, 2011) o de campo (Orozco-Romero, 2007; Osuna-Garcia *et al.*, 2008; Guzmán-Piedrahita y Castaño-Zapata, 2009).

Por otro lado, se ha reportado que todos los clones del subgrupo Cavendish y Gros Michel (AAA) son susceptibles a la enfermedad (Mourichon *et al.*, 1997; Romero y Sutton, 1997; Leiva-Mora *et al.*, S/F; Da Silva-Junior *et al.*, 2002), como es el caso de los clones Enano Gigante Teapa, Clon Francés o Clon Oaxaqueño, lo cual coincide con lo encontrado en este estudio.

Cuadro 1. Desarrollo de sigatoka negra en clones de banano evaluados en campo en el Sococusco, Chiapas.

Genotipos	Hoja con pizca	Hoja más joven manchada	Grado de severidad de SN
PW	2.2 a	6.7 a	1.2 e
FOU	1.9 b	5.9 b	1.2 e
EGT	1.3 d	3.1 d	2.1 ab
CF	1.3 d	2.9 d	2.1 a
CX	1.3 d	3 d	1.9 cb
PIM	2 ab	3.6 cd	1.8 c
FHIA-23	1.5 c	4 c	1.5 d
Promedio	1.6	4.2	1.7
CV (%)	23.2	23	20.9

PW=Pisang awak, FOU=Fougamu, EGT=Enano Gigante Teapa, CF=Clon Frances, CX=Clon Oaxaqueño, PIM=Pisang Mas. Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El clon Fougamu se ha reportado con una resistencia moderada a la enfermedad, pero en este estudio se observó como resistente en condiciones de campo; Se ha señalado que cuando la resistencia parcial es pronunciada, como en el caso del clon Fougamu (ABB), el desarrollo de la enfermedad de la fase 1 a la necrosis, es lento y la esporulación es leve (Mourichon *et al.*, 1997), lo cual se observó en este estudio. Sobre el mecanismos de resistencia de este clon, se ha demostrado que se debe a una rápida estimulación del sistema antioxidante (producción de dismutasas, catalasas y peroxidasas), la cual se expresa más rápido en Fougamu que en el clon susceptible Gran enano (Hadrami *et al.*, 2012)

En las Figuras 1, 2 y 3 se representa el desarrollo de la sigatoka negra en los siete genotipos evaluados, donde puede observarse la variación entre ellos, destacando los genotipos Pisang Awak y Fougamu. Por otro lado es importante señalar la interacción de esta tolerancia con el ambiente en algunos genotipos, ya que por ejemplo, el clon FHIA 23 muestra mayor susceptibilidad en los periodos de mayor presión de inóculo (septiembre-noviembre) pero se

muestra como tolerante en periodos de baja presión de inóculo (febrero-marzo), esto puede relacionarse con Cuellar *et al.* (2011), quienes indican que FHIA 23 presentó resistencia a *M. fijiensis* en evaluación *in vitro*. En la Figura 4a-h puede observarse la tolerancia de los genotipos evaluados.

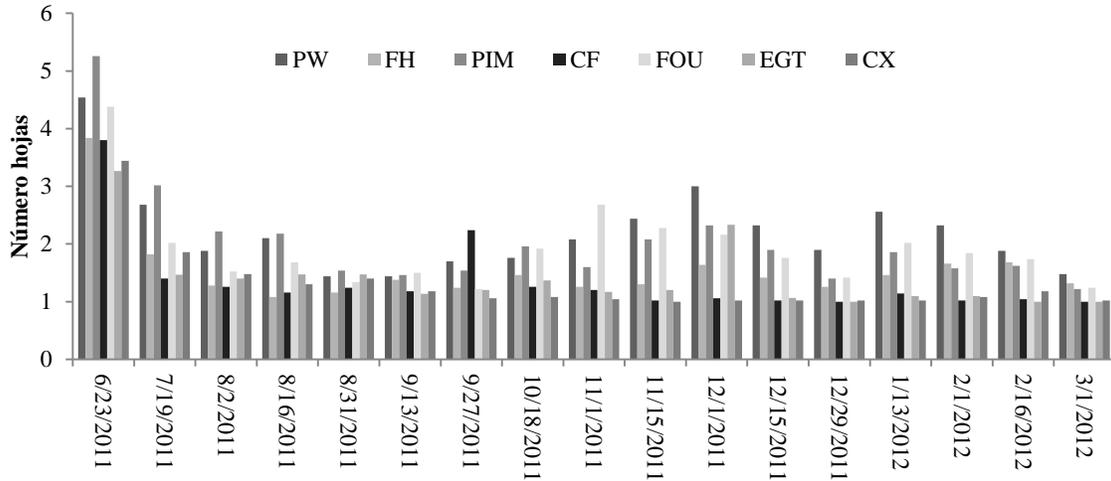


Figura 1. Hoja con pizca en siete genotipos evaluados en el Soconusco, Chiapas. PW=Pisang awak, FH=FHIA23, PIM=Pisang Mas, CF=Clon Francés, FOU=Fougamu, EGT=Enano Gigante Teapa, CX=Clon Oaxaqueño.

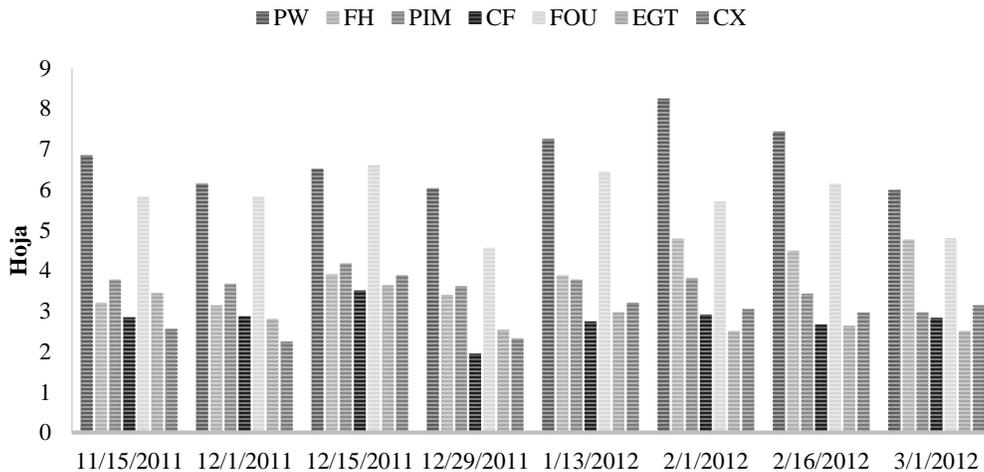


Figura 2. Hoja más joven con mancha en siete genotipos evaluados en el Soconusco, Chiapas. PW=Pisang awak, FH=FHIA23, PIM=Pisang Mas, CF=Clon Francés, FOU=Fougamu, EGT=Enano Gigante Teapa, CX=Clon Oaxaqueño.

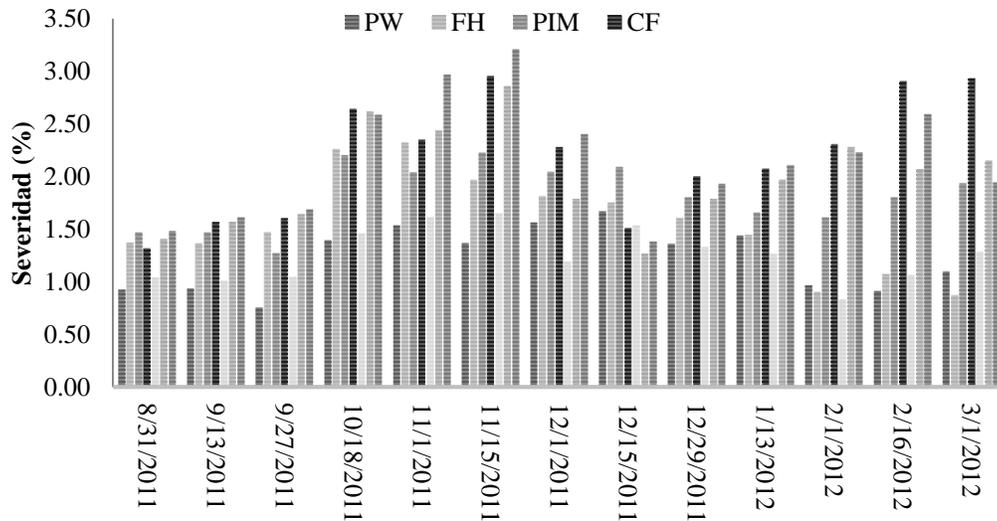


Figura 3. Severidad de sigatoka negra en siete genotipos evaluados en el Soconusco, Chiapas. PW=Pisang awak, FH=FHIA23, PIM=Pisang Mas, CF=Clon Francés, FOU=Fougamu, EGT=Enano Gigante Teapa, CX=Clon Oaxaqueño.

Evaluación de desarrollo y producción

Los análisis de varianza de las variables de desarrollo y crecimiento mostraron diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.05$) entre genotipos. En el Cuadro 2 se presentan datos de desarrollo de las plantas evaluadas. Se puede observar que los clones Enano Gigante Teapa, Clon Francés y Clon Oaxaqueño tienen un desarrollo similar, con menor altura de planta, número de hojas, días a floración y a cosecha que los clones Pisan Awak, Fougamu y Pisang Mas, mientras tanto el clon FHIA 23 no presentó floración durante el periodo de evaluación.

Cuadro 2. Parámetros de desarrollo de los clones de banano evaluados en el Soconusco, Chiapas.

Genotipo	DP	AP	AH	No. Hojas a:		No. de días a:	
				FL	CO	FL	CO
PW	94.5 a	317.2 c	232 b	13.4 a	9.3 a	409 a	508 a
FOU	87.1 a	467 a	389.5 a	13 a	8.2 a	407 a	530 a
EGT	58.7 b	259.6 d	59.8 c	7.8 c	2.8 c	361 bc	439 b
CF	58.3 b	243 d	81.7 c	8 c	2.2 c	364 c	446 b
CX	57.7 b	254 d	91.9 c	7.7 c	2.4 c	364 c	439 b
PIM	57.4 b	384.4 b	183.3 b	10.5 b	6.4 b	394 ab	455 b
Promedio	68.4	321	172.9	9.9	5.2	54.3	66.8
CV (%)	10.6	5.1	25.01	11.3	26.4	6	5.7

PW=Pisang awak, FOU=Fougamu, EGT=Enano Gigante Teapa, CF=Clon Francés, CX=Clon Oaxaqueño, PIM=Pisang Mas. DP=Diámetro del pseudotallo (cm), AP=Altura de planta (cm), AH=Altura de hijuelo (cm), FL=Floración, CO=Cosecha.



Figura 4. Genotipos evaluados para conocer su tolerancia a sigatoka negra en el Soconusco, Chiapas. a) Pisang awak, b) Fhia 23 c) Pisang Mas, d) Clon Francés, e) Fougamu, f) Enano Gigante Teapa, g) Clon Oaxaqueño, h) Frutos de Pisang awak.

Respecto a las variables asociadas con la producción, los análisis de varianza mostraron diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.05$) entre genotipos. En el Cuadro 3 se presentan los datos respectivos.

Cuadro 3. Parámetros de productividad de los clones de banano evaluados en el Soconusco, Chiapas.

Gen	No. de días					Dedo central 3a mano		
	PM	CO	PR	NM	ND	LO	GR	PF
PW	112	508	21.1 a ³	9.4 a	181.5 a	15.7 b	43.1 b	0.08 cd
FOU	119	530	21.3 a	7.9 ab	141.6 b	16.1 b	49.6 a	0.11 bc
EGT	77	339	16.3 a	4.63 d	83.1 c	22.5 a	44.4 ab	0.16 a
CF	81	446	15.8 a	5.11 cd	90.3 c	22 a	42.2 b	0.14 ab
CX	74	439	15 a	4.71 d	79.4 c	21.9 a	42.8 b	0.15 a
PIM	75	455	11.1 b	6.78 bc	135 b	12.2 c	40.5 b	0.06 d
Prom.		66.8	13.6	6.4	119.5	18.3	43.6	0.1
Cv (%)	Nd	5.7	19	17.5	19.2	8.4	7.9	23.3

GEN=Genotipo, PW=Pisang awak, FOU=Fougamu, EGT=Enano Gigante Teapa, CF=Clon Francés, CX=Clon Oaxaqueño, PIM=Pisang Mas. PM=Periodo de maduración, CO=Cosecha, PR=Peso del racimo (kg), NM=Número de manos, ND=Número de dedos, LO=Longitud (cm), GR=Grosor (cm), PF=Peso del fruto (kg). En columnas, valores con letras iguales no difieren significativamente (Tukey $\alpha=0.05$).

Puede observarse que la variación entre los genotipos evaluados es de entre 339 a 530 días a la cosecha, siendo el Enano Gigante Teapa el más precoz y Fougamu el más tardío. En cuanto a calidad de fruto con respecto a longitud, grosor y peso, Enano Gigante Teapa, Clon Francés y Clon Oaxaqueño, fueron los mejores siendo estos genotipos los más utilizados por los productores y ofertados en el mercado; los frutos más pequeños fueron de Pisang Mas. Además del efecto comercial del tipo y la calidad del fruto de Pisan Awack, se ha reportado la actividad antioxidante de estos frutos, lo cual promueve la salud y previene los efectos de enfermedades cardiovasculares (Priya *et al.*, 2012).

Obtener la secuencia del genoma de Musa (D'Hont *et al.*, 2012) es un avance importante hacia la seguridad alimentaria y es vital para identificar características agronómicas importantes, como la calidad del fruto y la resistencia a enfermedades. Desafortunadamente, entre los genes relacionados a la defensa de la planta, aquellos que codifican proteínas ricas en leucina (nucleotide-binding site leucine-rich repeats), se encontró que están poco representados en el genoma de Musa (89 genes de 36,542 genes predichos).

CONCLUSIONES

Los genotipos Pisang Awak y Fougamu destacan por su tolerancia a la sigatoka negra en las condiciones del Soconusco, Chiapas, superando a los clones actualmente en uso. Las plantas de banano obtenidas mediante cultivo *in vitro* tienen un desarrollo normal en condiciones de campo. Los genotipos Enano Gigante Teapa, Clon Francés y Clon Oaxaqueño presentaron menor altura de planta, número de hojas, días a floración y a cosecha a diferencia de los clones Pisan Awak,

Fougamu y Pisang Mas. Mientras que Fhia 23 presentó una floración tardía. Enano Gigante Teapa fue el más precoz en cuanto a días a cosecha y el Fougamou el más tardío. Con respecto a longitud, grosor y peso del fruto, Enano Gigante Teapa, Clon Francés y Clon Oaxaqueño, fueron los mejores, Pisang Mas produjo los frutos más pequeños.

AGRADECIMIENTOS

MC. Ku-Cauich Roberto, QFB Rosa Grijalva técnicos que proliferaron el material biológico, a la Asociación de Productores de Plátano del Soconusco y el financiamiento del proyecto FORDECYT (No. 116886).

LITERATURA CITADA

- Cuéllar Q.A., E. Álvarez C. y J. Castaño Z. 2011. Evaluación de resistencia de genotipos de plátano y banano a la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet). *Rev. Fac. Nal. Agr.* 64(1):5853-5865.
- Chin K. M., M. Wirz and D. Laird. 2001. Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* from banana to trifloxystrobin. *Plant Dis.* 85: 1264-1270.
- Churchill A. C. L. 2011. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Molec. Plant Pathology.* 12: 307-328
- Craenen K. y R. Ortiz. 1996. Effect of the black sigatoka resistance locus bs1 and ploidy level on the fruit and bunch traits of plantain-banana hybrids. *Euphytica* 87:97-101.
- Darsini. D. T. P, V. Maheshu, M.Vishnupriya and J.M. Sasikumar. 2012. *In vitro* activity of banana (*Musa* spp. ABB cv. Pisang Awak). *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics.* 49:124-129
- Da Silva-Junior, J.F., R.J.M. de Moura, S. de O. Silva, J. Gouveia, V.F. dos Santos e A.R. Lopes-Junior. 2002. Evaluación de cultivares e híbridos de banano y plátano en el trópico húmedo del estado de Pernambuco, Brasil (1er. Ciclo). *In: ACORBAT. Memorias XV Reunión. Cartagena de Indias, Col.* pp. 441-445
- D'Hont A., F. Denoeud, Jean-MarcAury, F. C. Baurens, F. Carreel, O. Garsmeur, B. Noel, S. Bocs, G. Droc, M. Rouard, C. Da Silva, K. Jabbari, C. Cardi, J. Poulain, M. Souquet, K. Labadie, C. Jourda, J. Lengelle', M. Rodier-Goud, A. Alberti, M. Bernard, M. Correa, S. Ayyampalayam, M. R. Mckain, J. Leebens-Mack, D. Burgess, M. Freeling, D. Mbe'guie'-A-Mbe'guie', M. Chabannes, T. Wicker, O. Panaud, J. Barbosa, E. Hribova, P. Heslop-Harrison, R. Habas, R. Rivallan, P. Francois, C. Poiron, A. Kilian, D. Burthia, C. Jenny, F. Bakry, S. Brown, V. Guignon, G. Kema, M. Dita, C. Waalwijk, S. Joseph, A. Dievert, O. Jaillon, J. Leclercq, X. Argout, E. Lyons, A. Almeida, M. Jeridi, J. Dolezel, N. Roux, A. M. Risterucci, J. Weissenbach, M. Ruiz, J. Glaszmann, F. Que'tier, N. Yahiaoui and P. Wincker. 2012. The banana (*Musa acuminata*) genome and the evolution of monocotyledonous plants. *Nature* 488: 213-218.
- FAO. 2002. La economía mundial del banano 1985-2002. Arias P, Dankers C, Liu Pascal, Palkauskas. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5102s/y5102s00.pdf>.

- FRAC. 2015. Fungicide Resistance Action Comitee. <http://www.frac.info>. Consulta: 19 de junio de 2015.
- Fouré E. 1985. Black leaf streak disease of bananas and plantains (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), study of the symptoms and stages of the diseases in Gabon. IRFA, Paris, France.
- Fullerton R.A., and G. M. Tracey. 1984. Tolerance of *Mycosphaerella fijiensis* to benomyl and carbendazim in the Pacific Islands. *Trop. Agric. (Trinidad)* 61: 133-136.
- Guzmán-Piedrahita O. A. y J. Castaño-Zapata. 2009 Análisis de algunos componentes de resistencia en los híbridos de plátano FHIA-20 y de banano FHIA-23 a las sigatokas negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y amarilla (*Mycosphaerella musicola* Leach). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 33(128): 323-329.
- Hadrami, A.E., D. Kone and P. Lepoivre. 2005. Effect of juglone on active oxygen species and antioxidant enzymes in susceptible and partially resistant banana cultivars to black leaf streak disease. *European Journal of Plant Pathology* 113:241-254.
- Jiménez Z., J. 1988. Control de calidad en hongos entomopatógenos. Memoria XXI Congreso Nacional de Control Biológico. Río Bravo, Tamaulipas, México. p. 113.
- Jones, D. R. 2000. Sigatoka. *In: Jones, D.R. (Ed.). Diseases of Banana, Abacá and Enset* CAB International, Wallingford, UK. pp 79-92.
- Leiva-Mora, M., M.A. Dita-Rodríguez, Y. Alvarado-Capó, M. Acosta-Suárez, L. García y I. Bermúdez. S/F. Empleo de diferentes inóculos de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en condiciones de invernadero para evaluar el comportamiento de dos cultivares de banano. *INFOMUSA* 11: 41-42.
- Leiva-Mora, M., Y. M. Alvarado-Capó, Acosta-Suárez, M. Cruz-Martín, B. Roque, E. Mena-Méndez. 2015. Components of resistance to assess Black Sigatoka response in artificially inoculated *Musa* genotypes. *Rev. Protección Veg.* 30: 60-69.
- Marín, D. H., R. Romero A., M. Guzmán and T. Sutton B. 2003. Black sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. *Plant Disease* 87: 208-222.
- Martínez B., L., D. Téliz O., M. Concepción R., J. A. Mora A., D. Nieto A., J. I. Cortés F., D. Dimas Mejía S., C. Nava D., y G. A. Gonzalo-Silva. 2012. Resistencia a fungicidas en poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* del sureste mexicano. *Agrociencia* 46: 707-717.
- Mourichon, X., J. Carlier y E. Fouré. 1997. Enfermedades de Sigatoka. Raya negra de la hoja (Sigatoka negra), enfermedad de sigatoka (Sigatoka amarilla). Hoja divulgativa No. 8 INIBAP. 4 p.
- Nelson E. B. 1991. Handbook of Applied Mycology. *In: D.K. Arora, B. Rai, K.G. Mukerji, and G.R. Knudsen (Eds.). Current limits to biological control of fungal phytopathogens. Volume 1. Soil and Plants.* Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 327- 355.
- Okole B. N., and F. A. Schulz. 1997. Selection of *Mycosphaerella fijiensis* resistant cell lines from microcross sections of banana and plantain. *Plant Cell Reports* 16:339-343.
- Orozco-Romero, J. 2007. Control de la sigatoka: Variedades. En: Rosales, F.E y L.E. Posasasngre (Eds). Oferta tecnológica de banana y plátano para América Latina y El Caribe: Una contribución de MUSALAC a la investigación y desarrollo de las Musaceas. Turrialba, C.R., INIBAP, pp.76-77.
- Orozco S., M., J. Farías L., V. Vázquez V. 1996. La Cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis*) dans l'ouest du Mexique. *INFOMUSA* 5(1): 23-24.
- Orozco S., M, y J. Orozco R. 2006. Control cultural de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano. *In: Da Silva Moraes, W., M. Orozco-Santos, y J. Orozco-Romero. (eds). Anais del I Simpósio de manejo adequado da sigatoka negra na cultura da banana.* Pariqueira-Açu, SP, Brasil. p. 92-116.

- Osuna-García, J.A., V. Vazquez-Valdicia y M.H. Barraza. 2008. Caracterización postcosecha de cultivares de plátano para consumo en fresco. *Rev. Chapingo, Serie Horticultura* 14(2):139-145.
- Pérez-García, A., D. Romero and A. De Vicente. 2011. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of Bacilli in agriculture. *Current Opinion in Biotechnology* 22(2):187-193.
- Pérez L., A. Batlle, A. Hernández, M. Pérez, R. Trujillo, C. Álvarez, y A. Méndez. 2003. Evolución de la sensibilidad a fungicidas de las poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en banano en Cuba. *Fitosanidad* 7: 49-54.
- Ploetz, R. C. 2001. Black Sigatoka of banana. The plant health instructor. www.apsnet.org/edcenter/Pages/phi.aspx.
- Ploetz, R.C., A.K. Kepler, J. Daniells and S.C. Nelson. 2007. Banana and plantain—an overview with emphasis on Pacific island cultivars en: Elevelitch, C.R. (Ed.). *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*. Permanent Agriculture Resources (PAR), Hōlualoa, Hawaii. <<http://www.traditionaltree.org>>
- Romero R. R, and T. B. Sutton. 1997. Sensivity of *Mycosphaerella fijiensis*, causal agent of black Sigatoka of bananas to propiconazol. *Phytopathology* 87: 96-100.
- Romero R. A, and T. B. Sutton. 1998. Characterization of benomyl resistance in *Mycosphaerella fijiensis*, cause of Black Sigatoka of banana, in Costa Rica. *Plant Dis.* 82: 931-934.
- Rowe, P. 1998. Mejoramiento de bananos y plátanos con resistencia a sigatoka negra. En. *Memorias del Simposium Internacional de Sigatoka Negra*. Manzanillo, Colima, México. Julio de 1998. p. 101.
- Sierotzki, H., S. Parisi, U. Steinfeld, I. Tenzer, S. Poirey, and U. Gisi. 2000. Mode of resistance to respiration inhibitors at the cytochrome bc1 enzyme complex of *Mycosphaerella fijiensis* field isolates. *Pest Manage. Sci.* 56: 833-841.
- SIAP. 2015. Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.sagarpa.gob.mx (Consulta: 20/09/15).
- Stover R. H. and J. D. Dickson. 1976. Banana leaf spot caused by *Mycosphaerella musicola* and *M. fijiensis* var. *difformis*: a comparison of the first Central American epidemics. *FAO Plant Protection Bulletin* 24:36-42.
- Twizeyimana, M., P.S. Ojiambo, A. Tenkouano, T. Ikotun and R. Bandyopadhyay. 2007. Rapid screening of *Musa* species for resistance to black leaf streak using *in vitro* plantlets in tubes and detached leaves. *Plant Dis.* 91:308-314.
- Vega, G. 2002. La sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el plátano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, Granma. Cuba.

EFFECTO ANTAGONISTA DE *Hyphomycetes* ENDÓFITOS DE *Taxus globosa* SCHLTDL. CONTRA *Fusarium* spp. Y *Alternaria* spp. PATÓGENOS DE *Capsicum annum*¹

[ANTAGONISTIC EFFECT OF *Hyphomycetes* ENDOPHYTES OF *Taxus globosa* SCHLTDL. AGAINST *Fusarium* spp AND *Alternaria* spp. PATHOGENS OF *Capsicum annum*]

**Romalda Vásquez Gutiérrez^{1§}, Felipe de J. Palma Cruz², Lucía Martínez Martínez³,
Claudia López Sánchez⁴**

¹Tesista de Posgrado, Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO). ²Profesor-Investigador, ITO. Oaxaca, México. ³Profesora-Investigadora, Centro de Investigación, Facultad de Medicina UNAM-UABJO, Oaxaca, México. ⁴Profesora-Investigadora, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Oaxaca, México. [§]Autor para correspondencia: (claudina1963@gmail.com, ingromisvg@live.com.mx).

RESUMEN

Los hongos endófitos son microorganismos que residen en los tejidos de plantas vivas sin causar algún síntoma de enfermedad, son fuentes potenciales de nuevos productos naturales para explotación en la medicina, agricultura y la industria. En la agricultura existe un llamado general para nuevos agroquímicos que sean altamente efectivos, que posean baja toxicidad y que tengan un impacto ambiental menor. En este estudio, se evaluó la actividad antagónica *in vitro* de 22 hongos endófitos aislados de *Taxus globosa*, sobre *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp. fitopatógenos de *Capsicum annum*. Se utilizó la técnica de confrontación dual y se determinó el porcentaje de inhibición en la primera y segunda semana de confrontación. Los resultados mostraron que todos los hongos endófitos tienen el potencial de detener y disminuir el crecimiento micelial de los fitopatógenos; pero particularmente las cepas KG04, KG49, KG47 y KG72 mostraron los mayores porcentajes de inhibición desde un 53% hasta 65%. Esto demuestra y se sugiere que los hongos endófitos de *Taxus globosa* son agentes potenciales en el control biológico de *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp. fitopatógenos que atacan a cultivos de *Capsicum*.

Palabras clave: *Control biológico, Cultivos duales, endófitos antagonistas.*

ABSTRACT

Fungal endophytes are microorganisms that live in internal tissues of living plants without causing any symptoms of disease, and they are potential sources of new natural products for exploitation in medicine, agriculture and industry. In agriculture there is a general call for new agrochemicals that are highly effective, having low toxicity and have a lower environmental impact. In this study we evaluated the *in vitro* antagonistic activity of 22 endophytic fungi isolated from *Taxus globosa* on *Fusarium* spp. and *Alternaria* spp. plant pathogens of *Capsicum annum*. We used the dual confrontation technique and the percent inhibition in the first and second week of confrontation was determined. The results showed that all endophytes have the

¹ Recibido: 06 de octubre de 2015.
Aceptado: 29 de enero de 2016.

potential to stop and reduce the mycelial growth of the phytopathogens, but particularly the strains KG04, KG49, KG47 and KG72 showed the highest percentages of inhibition from 53% to 65%. This demonstrates and suggests that fungal endophytes of *Taxus globosa* are potential agents for biological control of *Fusarium* spp. and *Alternaria* spp. pathogens that attack crops of *Capsicum* spp.

Index words: *biological control, dual cultures, endophytes antagonists.*

INTRODUCCIÓN

Los hongos representan uno de los grupos de organismos más diversos, que se asocian con formas de vida superior y pueden evolucionar imitando bioquímicamente al organismo huésped, tal es el caso de los hongos endófitos (Strobel *et al.*, 2005; Kusari *et al.*, 2013). El término endófito ha variado acorde con el avance del conocimiento en este campo (Gamboa-Gaitán, 2006). La definición más comúnmente usada de acuerdo con Hyde and Soyong, (2008) es la de Petrini (1991), “todo organismo que habita órganos de planta que en algún tiempo de su vida, puede colonizar tejidos internos de planta sin causar aparente daño al hospedador”.

Entre los beneficios más estudiados de los endófitos se encuentra la capacidad que inducen en el hospedero, mediante la producción de metabolitos secundarios, los cuales son particularmente activos debido a las interacciones metabólicas con sus hospedadores (Abello y Kelemu, 2006; Aly *et al.*, 2011; Jorgeane *et al.*, 2011). Varios hongos endófitos se han encontrado en cada una de las especies de plantas examinadas, y se estima que existe un poco más de un millón de hongos endófitos en la naturaleza (Zhao *et al.*, 2010), de los cuales solamente el 10% han sido descritos (Strobel and Daisy 2003).

Por otro lado, debido a la compleja interacción que se establece entre los hongos endófitos y su planta hospedera, entre distintas especies de hongos endófitos, y otras especies invasoras como otros hongos, Oomicetos y bacterias, se ha puesto atención no sólo en el papel ecológico que pueden desempeñar los metabolitos secundarios producidos por los hongos endófitos en dichas interacciones, sino en las aplicaciones de estos compuestos para el desarrollo de agroquímicos como nematicidas, fungicidas, insecticidas y herbicidas (Sánchez-Fernández *et al.*, 2013).

En la agricultura existe un llamado general para nuevos agroquímicos que sean altamente efectivos, que posean baja toxicidad y que tengan un impacto ambiental menor, debido a que constantemente se generan nuevos microorganismos resistentes a los compuestos existentes (Strobel and Daisy, 2003).

Ante los severos problemas de contaminación por el uso indiscriminado de agroquímicos así como la formación de organismos altamente resistentes, se ha tomado al control biológico como una nueva estrategia atractiva para el control de plagas y enfermedades que perjudican significativamente a los cultivos agrícolas (Bravo *et al.*, 2006).

La utilización de microorganismos antagonistas como bacterias, virus y hongos constituye una alternativa para disminuir la incidencia de enfermedades, mejorar la nutrición y la resistencia de las plantas. Los antagonistas en general no tienen un único modo de acción y la multiplicidad de estos es una característica importante para su selección como agentes de control biológico. Si el antagonista posee varios modos de acción, reduce los riesgos de desarrollo de resistencia en el patógeno (Orietta and Larrea, 2001).

Los estudios con controladores biológicos de enfermedades en plantas, han permitido determinar la presencia de metabolitos secundarios con actividad antibacteriana y antifúngica, pudiendo reducir la incidencia de los fitopatógenos y aumentar la protección de las plantas contra las infecciones causadas por los microorganismos causantes de las enfermedades. Además, el empleo de este tipo de control, contribuye a la disminución del uso de productos químicos, lo que adicionalmente implica la obtención de alimentos más seguros y libres de residuos (Phongpaichit *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2011; John *et al.*, 2012).

México, es el centro de origen y domesticación del chile (*Capsicum annuum*) y es uno de los países más importantes en la producción de este condimento, aportando más de dos millones de toneladas anuales (Cazares *et al.*, 2005; SIAP-SAGARPA, 2010). Es una hortaliza que se ve afectada por un sin número de enfermedades durante su producción, causadas principalmente por hongos que provocan grandes pérdidas económicas y propician los altos costos y riesgos de este cultivo (Monreal, 2005; Ramos y Luna, 2006; Agrios, 2008). En México, dentro de los principales fitopatógenos que atacan con mayor frecuencia al cultivo del chile están los hongos de los géneros *Alternaria* y *Fusarium* (Guigón y González, 2001). El tizón temprano es provocada por varias especies del género *Alternaria* y ataca principalmente a las hojas, lo cual provoca la marchitez y caída foliares, por lo que los frutos quedan expuestos al sol, reduciendo de esta manera la calidad y cantidad del fruto (Velásquez *et al.*, 2002; Duran y Mosquera, 2007; Chew *et al.*, 2008). Por su parte, los hongos del género *Fusarium*, son fitopatógenos todavía más frecuentes en los cultivos de chile, y son responsables de la marchitez y muerte de plantas jóvenes y adultas, lo cual afecta significativamente al rendimiento del producto; dicha enfermedad está ampliamente distribuida en los principales estados productores de chile de la República Mexicana (Flores *et al.*, 2005, Velásquez y Medina, 2006).

Con el propósito de encontrar nuevas fuentes de control biológico y considerando la amplia producción de metabolitos secundarios por parte de los hongos endófitos, el siguiente trabajo se realizó con el fin de estudiar el efecto antagónico *in vitro* de hongos endófitos de *Taxus globosa* Schltdl. sobre *Alternaria* spp. y *Fusarium* spp. fitopatógenos de *Capsicum annuum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hongos endófitos

Se emplearon 22 cepas de *Hyphomycetes* endófitos de *Taxus globosa*, una conífera oaxaqueña rara colectada en el distrito de Ixtlán, Oaxaca, a los endófitos se les calculó su velocidad de crecimiento, para ello se tomaron trozos circulares de micelio con diámetro de 0.6 cm y se colocaron en el centro de cajas de Petri de 60x15 mm con medio de Agar de Papa y Dextrosa (PDA). La toma de datos se hizo cada 24 horas. Cabe mencionar que de estas cepas endófitas 20 fueron aisladas de la raíz del árbol del Tejo (*Taxus globosa*) y las dos cepas restantes se obtuvieron a partir de la corteza del mismo árbol.

Aislamiento de los fitopatógenos

Se colectaron plantas de *Capsicum annuum* L. (chile de agua) enfermas, en los invernaderos de Agricultura Protegida del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, se consideraron solo aquellas plantas con síntomas muy avanzados de marchitez y tizón foliar. Las plantas

muestreadas fueron colectadas en el mismo día que se utilizaron para el aislamiento de los fitopatógenos. Las plantas de chile de agua colectadas, se lavaron con agua de la llave, con el objeto de eliminar todo tipo de contaminación. A continuación, y con el auxilio de una tijera estéril, se hicieron cortes de tallo y hojas enfermas, de aproximadamente un cm², los cortes incluyeron una parte enferma y una parte aparentemente sana del tejido, y en enseguida se sometieron a los procesos de esterilización que se describen a continuación. Para el aislamiento de *Fusarium* spp., se lavaron los trozos del tallo de *Capsicum* en hipoclorito de sodio al 3% durante tres minutos y en alcohol etílico al 96% por un minuto; después se enjuagaron con agua destilada estéril por espacio de un minuto para eliminar los residuos del desinfectante, posteriormente se colocaron en papel filtro estéril para eliminar el exceso de humedad, y una vez secos se colocaron cuatro trozos del tejido en cada caja Petri con PDA. Se incubaron por espacio de cuatro días en completa oscuridad a 25°C. Las colonias originadas, se purificaron, cortando las orillas del micelio formado y se transfirieron a otra caja Petri con nuevo PDA.

Para el aislamiento de *Alternaria* spp., los tejidos de las hojas de *Capsicum* se lavaron durante dos minutos con hipoclorito de sodio al 3% y se enjuagaron con agua destilada estéril por tres ocasiones por espacio de un minuto cada una; posteriormente se colocaron cuatro trozos de tejido de hoja de *Capsicum* en cada caja Petri que contenía papel filtro humedecido con agua destilada estéril, con lo que se estableció su aislamiento en una cámara húmeda. Se incubaron en oscuridad completa por espacio de cuatro días a 25°C. De las colonias originadas, se tomaron trozos de micelio con ayuda de una pinza estéril y se colocaron en PDA, incubándose durante tres días. Enseguida se purificó la colonia generada siguiendo el mismo procedimiento que se empleó para el aislamiento de *Fusarium* spp.

Se describió morfológicamente a las colonias de *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp., y se hicieron microcultivos de las mismas, utilizando la técnica de Ridell (Mier *et al.*, 2002), a fin de que crecieran los fitopatógenos en trozos de PDA. La identificación macroscópica y microscópica de los fitopatógenos, se realizó utilizando el manual de Barnett y Hunt (1972).

Pruebas de antagonismo

Se realizaron cultivos dobles en cajas de Petri de 60x15 mm con PDA. El ensayo consistió en inocular a los extremos de la caja de Petri un disco de agar con micelio de 0.6 cm de diámetro de 15 días de edad, del extremo izquierdo se colocó el hongo endófito y del extremo derecho el fitopatógeno (*Fusarium* spp., o *Alternaria* spp.) ambas a una misma distancia del uno al otro y de la periferia de la placa. Así mismo, se incluyó en el experimento un control, el cual consistió en sembrar a los fitopatógenos (*Alternaria* spp. ó *Fusarium* spp.) sin confrontarlo con ningún hongo endófito.

Los bioensayos se incubaron a 25°C y se observaron cada 24 h durante 2 semanas. El crecimiento fúngico, se determinó midiendo el diámetro (cm) de las colonias. El crecimiento radial de los fitopatógenos, se expresó en porcentajes de inhibición, usando la fórmula sugerida por Ting *et al.* (2009):

$$\text{PIRG (\%)} = [(R1-R2)/R1] \times 100\%$$

Donde: PIRG (Percentage Inhibition of Radial Growth). R1: crecimiento radial del fitopatógeno (*Alternaria* spp. o *Fusarium* spp.) creciendo sólo. R2: crecimiento radial del fitopatógeno (*Alternaria* spp. o *Fusarium* spp.) creciendo con el endófito.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorio con tres repeticiones, cada unidad experimental estuvo representado por una caja Petri. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0.05$), utilizando el programa SAS (The SAS System for Windows 9.0). En este programa se introdujo las medias del crecimiento radial (cm) del fitopatógeno (*Alternaria* spp. o *Fusarium* spp.) alcanzado en cada uno de las repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó que a las 72 h de incubación, los hongos endófitos alcanzan el 50% de su crecimiento. La mayoría de los hongos endófitos lograron cubrir la superficie del medio en un lapso de 7 a 9 días, siendo la cepa KG72 la que registró el crecimiento más rápido (6 días), en tanto que el crecimiento más lento se observó en las cepas KG04, KG47 y CT05 (10 días).

Identificación macro y microscópica de *Alternaria* spp

La colonia filamentosa, a partir de la cual se identificó este fitopatógeno, inicialmente solo produjo micelio vegetativo. Y después de nueve días de desarrollo, produjo un micelio aéreo con aspecto muy algodonoso y una coloración café claro a gris; en el reverso de la caja el color observado era blanco-amarillento a gris claro con el centro ligeramente oscuro y anillos ligeramente visibles. Con mayor tiempo de incubación, el hongo se tornó a un color café oscuro (Figura 1A).

Con el microcultivo, se comprobó que la cepa aislada efectivamente pertenecía al género *Alternaria* ya que se apreciaron los conidios con los septos transversales y longitudinales que lo caracterizan. Las hifas de esta colonia fueron característicamente hialinas y septadas, observándose en su extremo terminal a los conidióforos alargados (Barnett y Hunter, 1972) (www.mycobanck.org) (Figura 1B).

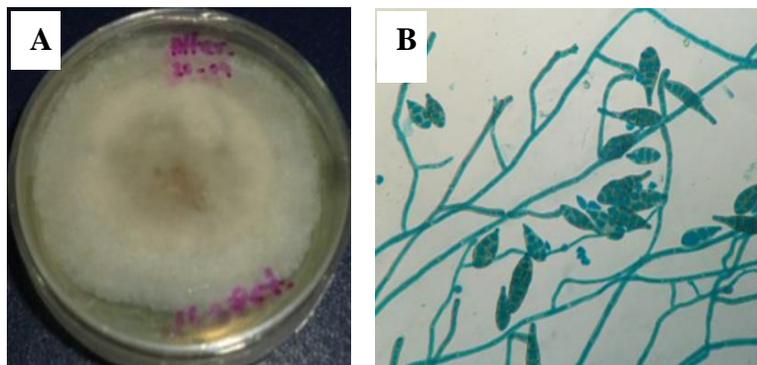


Figura 1. *Alternaria* spp. (A) Identificación macroscópica: se observa una colonia algodonosa con coloración café claro a gris claro, se identifican anillos ligeramente visibles. (B) Identificación microscópica (40X): se observan hifas septadas y conidios.

Identificación macro y microscópica de *Fusarium* spp

La cepa de la cual se identificó al fitopatógeno *Fusarium* spp., inicialmente tuvo una apariencia filamentosa, con un crecimiento rápido, y cubrió por completo a la caja de Petri en 7 días. La colonia joven presentó muy poco micelio aéreo, en un principio de color blanco y conforme transcurrió el tiempo, se tornó algodonosa, con el centro de color rosa a morado pálido; por el reverso de la caja de Petri, la colonia mostró una coloración blanco-amarillenta con matices morados (Arias y Piñeros, 2008). Esta cepa, siempre mostró un crecimiento perfectamente circular, siempre muy filamentosa y con poco micelio aéreo (Figura 2A).

Con el microcultivo, se comprobó que la cepa aislada en efecto pertenecía al género *Fusarium* ya que se pudieron apreciar tanto sus hifas hialinas y septadas, así como sus conidióforos, pero sobre todo muchos microconidios de diversos tamaños dispersos en todo el microcultivo, y los macroconidios, con su característica forma de media luna, hialinos y con septos de 3 a 5 células (Barnett y Hunter, 1972) (Figura 2B).

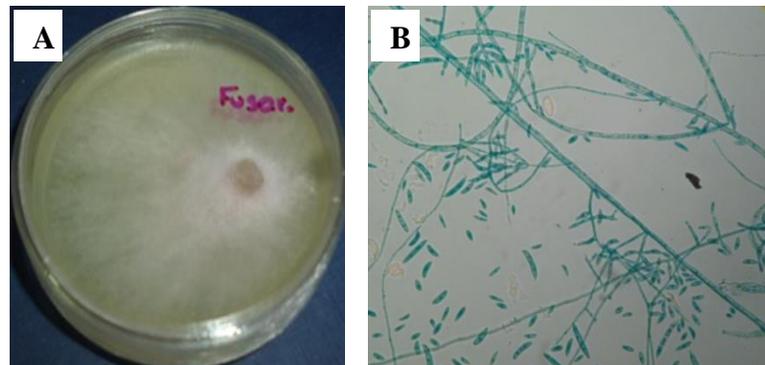


Figura 2. *Fusarium* spp. (A) Identificación macroscópica: se observa una colonia muy filamentosa poco algodonosa con coloración rosa. (B) Identificación microscópica (40X): se observan hifas septadas, conidióforos, microconidios y macroconidios.

Evaluación antagonica *in vitro* (endófito vs. fitopatógeno)

Usando el método de cultivos dobles, se determinó la actividad antagonica de veintidós hongos endófitos de *T. globosa* sobre los fitopatógenos *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp. En la mayoría de los bioensayos la actividad antagonica de todos los endófitos fue evidente ya que mostraron algún porcentaje de inhibición sobre los dos fitopatógenos. Se observó que los primeros encuentros o confrontaciones entre las dos colonias se dio al tercero y cuarto día de incubación, cada colonia alcanzó un diámetro entre los 2.2 a los 2.8 cm.

De acuerdo con el análisis de varianza para el diseño completo al azar y la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) (datos no mostrados) realizados, el efecto antagonico que mostraron los tratamientos de los *Hyphomycetes* endófitos sobre los fitopatógenos no fueron significativos ($p < 0.05$), pero la acción antagonica en las unidades experimentales fue muy evidente, ya que se logró determinar a las cepas con mayor dominancia en el control del micelio de los fitopatógenos.

En la primera semana de confrontación con *Alternaria* spp. se observaron valores mínimos de inhibición del 42% e incluso algunas cepas endófitas alcanzaron valores por arriba del 50% de inhibición (KG10, KG21, KG41, KG45, KG47, KG61, KG72); en tanto que en la segunda semana de confrontación, los endófitos de *Taxus* aumentaron su porcentaje de inhibición hasta el 65% (KG47, KG72 y KG04) (Figura 3). De acuerdo a Ting *et al.* (2009) los hongos endófitos tienen entre sus estrategias de inhibición al sobre crecimiento y la liberación de metabolitos en el medio en donde se desarrollan; con este estudio queda de manifiesto que los endófitos de *Taxus* tienden a comportarse de la misma manera que otros endófitos ya que mostraron estas dos estrategias, sobre todo la evidente liberación de metabolitos que se identificaron con gran facilidad por las coloraciones rojizas y/o amarillentas como se puede observar en la Figura 4.

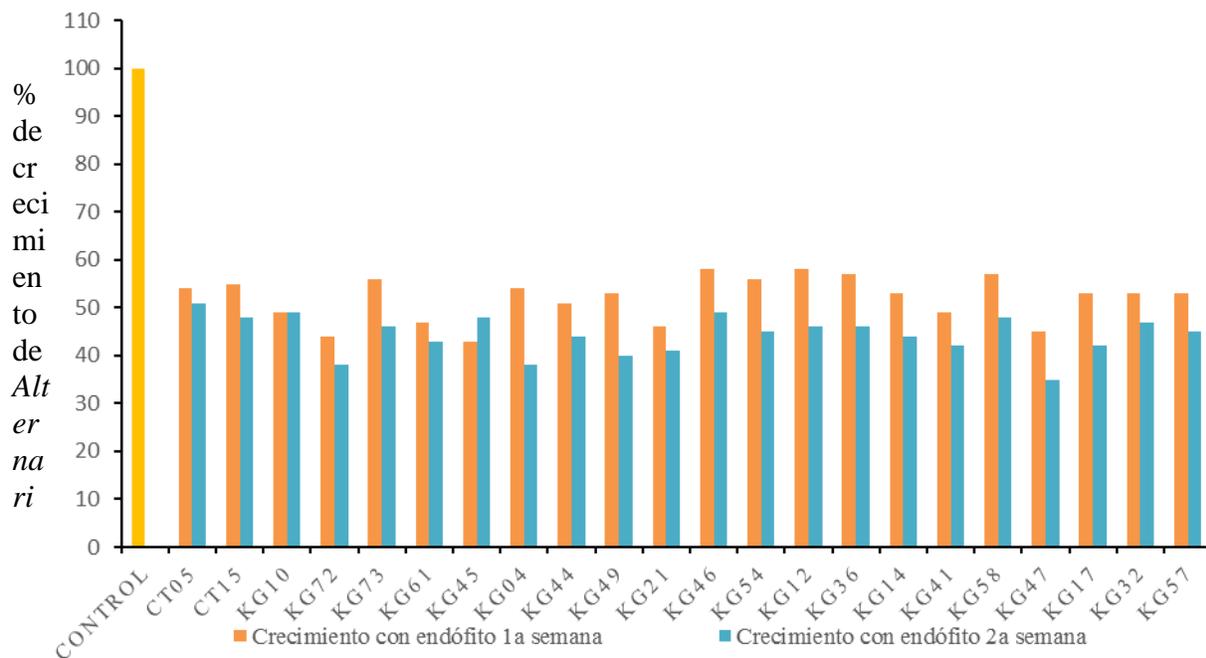


Figura 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento radial del fitopatógeno *Alternaria* spp. Se puede observar al patógeno creciendo sólo al 100% (color amarillo), con el endófito en la primera semana (color anaranjado) con un porcentaje de crecimiento del 43% al 58%, y en la segunda semana (color azul) con una disminución del 35% al 51%.

En el caso de la evaluación antagónica contra el fitopatógeno *Fusarium* spp., los resultados contemplados mostraron una baja actividad antagónica en la primera semana de confrontación, misma que osciló entre el 28 y el 42% de inhibición, lo que sugiere que el fitopatógeno fue quien dominó en el medio de cultivo durante ese período de incubación; sin embargo, durante la segunda semana de la confrontación, los endófitos mejoraron su actividad antagónica y alcanzaron porcentajes de inhibición superiores al 50%, sobre todo las cepas CT15, KG10, KG17, KG32, KG41, KG47, KG54, KG61, KG72 (Figura 5).

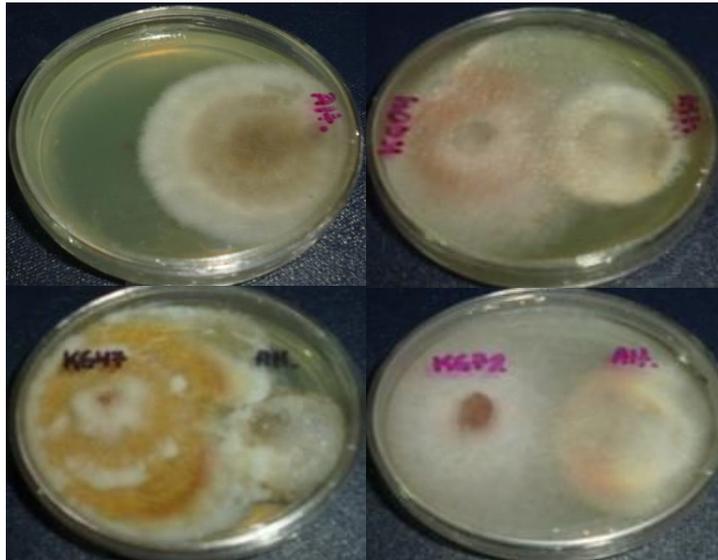


Figura 4. Cultivos dobles establecidos contra el fitopatógeno *Alternaria* spp. Se observa la colonia del patógeno sin confrontar y en confrontación con los endófitos KG04 y KG72 que lo inhibieron en un 62% y KG47 en un 65%. Se observa una inhibición por sobrecrecimiento micelial así como la liberación de metabolitos secundarios.

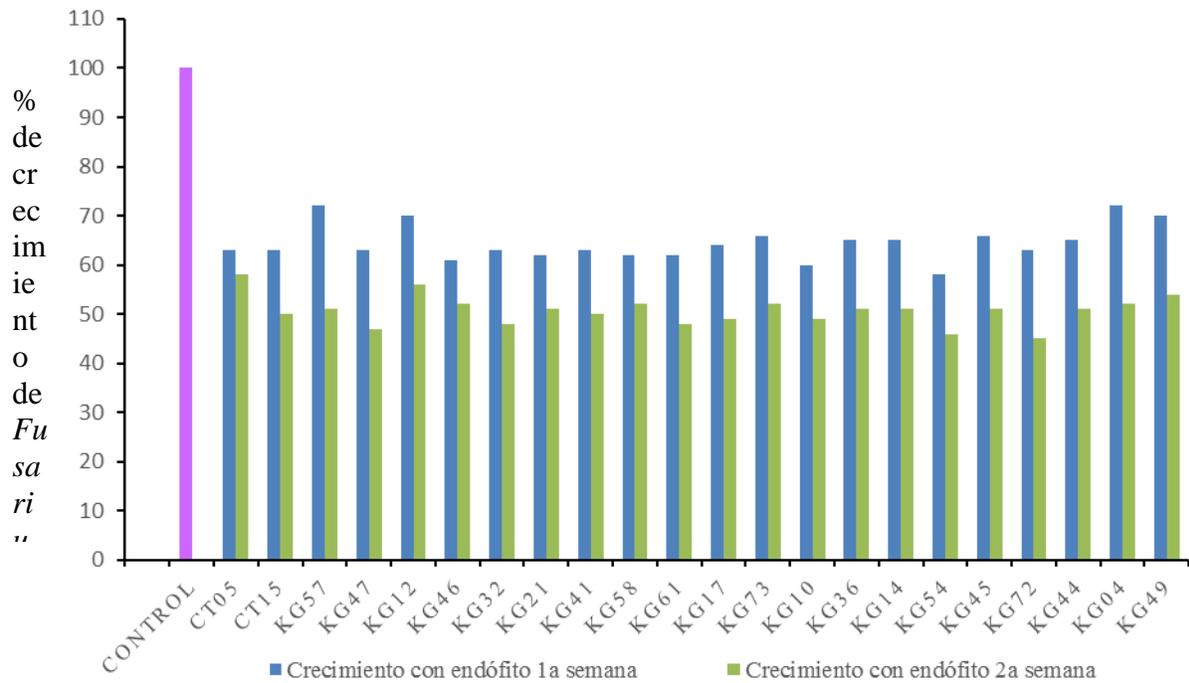


Figura 5. Porcentaje de inhibición del crecimiento radial del fitopatógeno *Fusarium* spp. Se puede observar al patógeno creciendo sólo al 100% (color lila), con el endófito en la

primera semana (color azul) con un crecimiento del 58% al 72%, y en la segunda semana (color verde) donde se ve disminuido su crecimiento del 45% al 58%.

En la actividad antagonista contra *Fusarium* spp., la competición aparentemente fue neutral, ya que tanto el endófito como el fitopatógeno crecieron sin que una colonia afectara a la otra. KG47, KG54, KG72 mostraron un margen de separación con el fitopatógeno, pudiendo ser causada por la liberación de algunos compuestos que se difunden por el medio, lo cual ya había sido notado por otros autores como Rocha *et al.* (2009) (Figura 6). Aunque Prada *et al.* (2009) argumentan que la ausencia del contacto físico entre 2 cepas de hongos puede deberse a la producción de una gran variedad de enzimas, como lacasas, peroxidasas, endoglucanasas, caseinasas, amilasa y exoglucanasas que pueden estar causando la inhibición antagonista. Para tal argumento sería necesario realizar otro tipo de experimentos para los endófitos de *Taxus*.

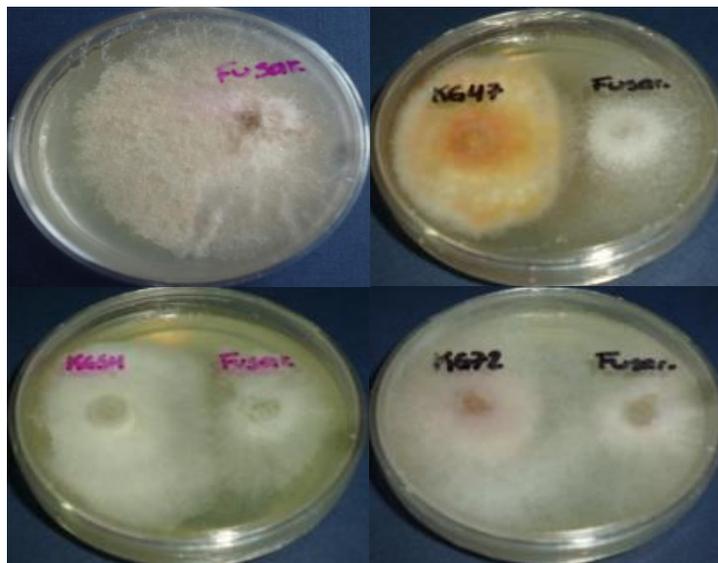


Figura 6. Cultivos dobles establecidos contra el fitopatógeno *Fusarium* spp. Se puede observar la colonia del patógeno sin confrontar y en confrontación con los endófitos KG47 que lo inhibió en un 53%, KG54 en un 54% y KG72 en un 55%. El contacto físico entre las colonias no se da debido a la liberación de compuestos o algunas enzimas.

Con los resultados de este estudio podemos suponer que los hongos endófitos de *Taxus globosa* tienen varias formas de inhibir al fitopatógeno, posiblemente compitiendo por nutrientes, produciendo metabolitos, proteínas, etc., que se liberan al medio, tal y como lo han demostrado con otros endófitos autores como Prada *et al.* (2009), Ramos-Sandoval *et al.* (2009), Sati y Arya (2010); con ello, los hongos endófitos de *Taxus globosa* son potencialmente fuertes competidores que se pueden considerar como futuras herramientas en el control biológico de fitopatógenos.

Así mismo, con los resultados se dejan abiertas las posibilidades de identificar posteriormente a los compuestos químicos producidos por los hongos endófitos de *Taxus globosa* capaces de inhibir el crecimiento micelial de fitopatógenos como *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp.

CONCLUSIONES

Los hongos endófitos de *Taxus globosa* tienen el potencial para competir e inhibir el crecimiento *in vitro* de fitopatógenos. Con este estudio, se demostró que todos los endófitos evaluados tienen algún porcentaje de inhibición sobre los fitopatógenos. Se encontró que las cepas KG04, KG72 y KG47 son las que tienen el mayor porcentaje de inhibición en el crecimiento micelial de *Alternaria* spp., en donde la estrategia de inhibición fue principalmente el sobrecrecimiento micelial, seguido de la liberación de metabolitos secundarios al medio de cultivo. En el caso de *Fusarium* spp., se encontró que las cepas KG47, KG54 y KG72 fueron las cepas con el mayor porcentaje de inhibición mediante la liberación de metabolitos, visiblemente identificables en el medio de cultivo. Por estas consideraciones determinamos que estas cepas de endófitos deben considerarse como fuertemente competidoras y pueden utilizarse como futuras herramientas en el control biológico de hongos fitopatógenos, principalmente aquellos que afectan al cultivo de *Capsicum annuum*.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dra. Claudia López Sánchez por facilitar las cepas endófitas empleadas en el desarrollo de este estudio y a la Dra. Lucía Martínez Martínez, por facilitarnos el uso de las instalaciones del laboratorio de CICIMEBIO-2 de la Facultad de Medicina y Cirugía de la Universidad Autónoma “Benito Juárez” de Oaxaca para el desarrollo de este experimento.

LITERATURA CITADA

- Abello, J. F. y S. Kelemu. 2006. Hongos endófitos: ventajas adaptativas que habitan en el interior de las plantas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 7(2): 55-57.
- Agrios, G. N. 2008. Fitopatología. Traducido por: Guzmán, O.M. segunda edición. Editorial LIMUSA. México, D. F. 205 p.
- Aly, A. H., A. Debbab and P. Proksch. 2011. Fungal endophytes: unique plant inhabitants with great promises. *Appl Microbiol Biotechnol* 90: 1829-1845.
- Arias, C. E. y P. Piñeros, E. 2008. Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de muestras de los suelos de los Paramos de Guasca y Cruz verde. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. 113 p.
- Barnett, H. L. and B. Hunter B. 1972. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Third Edition. Burgess Publishing. USA. 241 p.
- Bravo, A., E. Ibarra J., C. Rincón, E. Galindo, M. Patiño, L. Serrano, R. García, J. Carrillo, B. Pereyra A., A. Alcázar P., H. Luna O., L. Galán W., L. Pardo, C. Muñoz G., I. Gómez. y M. Soberón. 2006. Los microorganismos en el control biológico de insectos y fitopatógenos. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 48 (2): 113-120.
- Cázares, S. E., P. Ramírez V., F. Castillo, G., R. M. Soto H., M. T. Rodríguez G. y J. L. Chávez S. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39 (6): 627-638.
- Chew, M.Y.I., A. Vega, P., M. Palomo R. y F. Jiménez D. 2008. Principales enfermedades del Chile (*Capsicum annuum* L.). Folleto técnico num.15. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigadores Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental la Laguna. México, Coahuila. 32 p.

- Duran, L. M. E. y P. Mosquera V. 2007. Actividad biocontroladora de hongos de suelo sobre microorganismo fitopatógenos. Tesis de Licenciatura. Universidad del Uzuay. Cuenca-Ecuador. pp. 7-30.
- Flores, C., S. San Martín, L. Carrillo y N. Bejarano, 2005. Especies de *Fusarium* de la Quebrada de Lozano, Jujuy, Argentina. *Revista Argentina de Microbiología* 37: 109-112.
- Gamboa-Gaitán, M. A. 2006. Hongos endófitos tropicales: conocimiento actual y perspectivas. Universidad Nacional de Colombia.
- Guigón, L. C. y P. A. González G. 2001. Estudio regional de las enfermedades del chile (*Capsicum annuum*, L.) y su comportamiento temporal en el sur de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19 (01): 49-56.
- Hernández, A. L. L., B. E. Hernández, B., M. Jiménez E., S. Hernández O., A. L. Anaya L. y M. L. Macías R. 2011. Potencial aleloquímico del hongo endófito *Xilaria* sp. aislado de *Pteridium aquilinum*. *Revista Latinoamericana de Química* 38: 127.
- Hyde, K. D. and K. Soytong. 2008. The fungal endophyte dilemma. *Fungal Diversity* 33: 163-173.
- John, P. J., N. Nirjanta D., W. Femina. 2012. Antibiogram pattern of endophytic fungi isolated from medicinal plant *Centella asiática*. *Journal of Pharmacy Research* 5(1): 205-207.
- Jorgeane, de S. J., I. J. Curcino V., E. Rodrigues-Filho and R. Braz-Filho. 2011. Terpenoids from Endophytic Fungi. *Molecules* 16: 10604-10618.
- Kim, H. Y., G. J. Choi, H. B. Lee, S.W. Lee; H. K. Lim, K. S. Jang, S.W. Son, S.O. Lee, K.Y. Cho, N. D. Sung and J. C. Kim. 2006. Some fungal endophytes from vegetable crops and their anti-oomycete activities against tomato late blight. *Letters in Applied Microbiology* 44: 332-337.
- Kusari, S., P. Pandey S. y M. Spiteller. 2013. Untapped mutualistic paradigms linking host plant and endophytic fungal production of similar bioactive secondary metabolites. *Phytochemistry* 91: 81-87.
- Mier, T., C. Toriello y M. Ulloa. 2002. Hongos Microscópicos saprobios y parásitos: Métodos de laboratorio. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. pp. 13-15. <http://www.ibiologia.unam.mx>
- Monreal, V. C. T. 2005. Desarrollo de métodos de diagnóstico molecular de enfermedades virales, bacterianas y fúngicas en hortalizas. Tesis de maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. A. C. San Luis Potosí. S. L. P. 17 p.
- Orietta, F. y V. Larrea. 2001. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. Avances en el fomento de Productos Fitosanitarios No-Sintéticos. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 62:96-100.
- Phongpaichit, S., J. Nikom, N. Rungjindamai, J. Sakayaroj, N. Hutadilok-T., V. Rukachaisirikul y K. Kirtikara. 2007. Biological activities of extracts from endophytic fungi isolated from *Garcinia* plants. *FEMS Immunol Med Microbiol* 51: 517-525.
- Prada, H., L. Ávila, R. Sierra, A. Bernal y S. Restrepo. 2009. Caracterización morfológica y molecular del antagonismo entre el endófito *Diaporthe* sp. aislado del frailejón (*Espeletia* sp.) y el fitopatógeno *Phytophthora infestans*. *Rev Iberoam Micol.* 26 (3): 198-201.
- Ramos, G. F. y A. Luna J. 2006. Evaluación de tres variedades de Chile (*Capsicum annuum* L.) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. In: Rosa del Carmen Zapata. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Impreso en los talleres gráficos del Departamento de Procesos Gráficos de la UAA. México. pp. 6-11.
- Ramos-Sandoval, R. U., J. G. Gutiérrez-Soto, R. Rodríguez-Guerra, S. Salcedo-Martínez, C. E. Hernández-Luna, H. A. Luna-Olvera, J. F. Jiménez-Bremont, S. Fraire-Velázquez y I. H.

- Almeyda-León. 2010. Antagonismo de dos Ascomicetos contra *Phytophthora capsici* Leonian, causante de la marchitez del chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 28: 75-86.
- Rocha, R., D. E. Da Luz, C. Engels, S. A. Veiga P., D. Jaccoud F., R. Rodrigues M. and M. Pileggi. 2009. Selection of endophytic fungi from comfrey (*Symphytum officinale* L.) for *in vitro* biological control of the phytopathogens *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.). *Brazilian Journal of Microbiology* 40: 73-78.
- Sánchez-Fernández, R. E., B. L. Sánchez-Ortiz, Y. K. M. Sandoval-Espinosa, A. Ulloa-Benítez, B. Armendáriz-Guillén, M. C. García-Méndez y M. L. Macías-Rubalcava. 2013. Hongos endófitos: Fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *Tip Rev. Esp. Cienc. Quim. Biol.* 16 (2): 132-146.
- Sati, S. C. y P. Arya. 2010. Antagonism of Some Aquatic *Hyphomycetes* against Plant Pathogenic Fungi. *TheScientific WorldJournal* 10: 760-765.
- SIAP-SAGARPA. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Strobel, G. and B. Daisy. 2003. Bioprospecting for Microbial Endophytes and Their Natural Products. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 67 (4): 491-502.
- Strobel, G., B. Daisy and U. Castillo. 2005. The Biological Promise of Microbial Endophytes and Their Natural Products. *Plant Pathology Journal* 4 (2): 161-176.
- Ting, A. S. Y., S. W. Mah and C. S. Tee. 2009. Prevalence of Endophytes Antagonistic Towards *Fusarium oxysporum* F. Sp. *Cubense* Race 4 in Various Plants, *Am.-Eurasian J. Sustain. Agric.* 3(3): 399-406.
- Velásquez, V. R., M. M. Medina A. y J. Mena C. 2002. Guía para identificar y manejar las principales enfermedades parasitarias del chile en Aguascalientes y Zacatecas. Folleto técnico núm. 20. Programa de Fitopatología del Campo Experimental Pabellón (INIFAP). México. 41 p.
- Velásquez, V. R. y M. Medina A. 2006. Manejo Integrado de Enfermedades. *In:* A. G. Bravo L., G. Galindo G. y M. D. Amador R. Tecnología de producción de chile seco. Libro Técnico 5 (INIFAP). México, D. F. pp. 121-140.
- Zhao, J., L. Zhou, J. Wang, T. Shan, L. Zhong, X. Liu and X. Gao. 2010. Endophytic fungi for producing bioactive compounds originally from their host plants. *Technology and Education topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology* A. Mendez-Vilas (Ed.) 567-576.

INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DE CHIAPAS¹

[GENOTYPE BY ENVIRONMENT INTERACTION IN CHIAPAS MAIZE LANDRACES]

Jesús Martínez-Sánchez^{1§}, Néstor Espinosa Paz¹, Yuri Villegas Aparicio²

¹Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, km 3. Ocozocoautla, Chiapas. C. P. 29140. ²Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Ex Hacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71233 [§]Autor para correspondencia: (martinez.jesus@inifap.gob.mx).

RESUMEN

En Chiapas el 75% de la superficie cultivada con maíz es de maíces nativos y en el estado existe diversidad genética no explorada que puede ser utilizada en programas de mejoramiento genético para rendimiento de grano y resistencia a sequía. El objetivo de esta investigación fue determinar la magnitud de la interacción genotipo x ambiente (G x A) en poblaciones de maíz nativo de Chiapas en ambientes contrastantes por sequía intraestival y seleccionar poblaciones estables. Se evaluaron 25 poblaciones de maíz nativo en tres ambientes contrastantes, con un diseño de bloques completos al azar. La variable rendimiento se analizó primero con un análisis de varianza combinado. Posteriormente se aplicó el modelo de regresión en los sitios (SREG) para estudiar la interacción G x A. El análisis de estabilidad se hizo utilizando la gráfica GGE biplot. Hubo diferencias significativas entre ambientes, poblaciones y la interacción ambientes por poblaciones. De acuerdo con el modelo las poblaciones Tuxpeño-3 y Rocame-18 sobresalieron en Úrsulo Galván, mientras que Precoz-16, Olotillo-34 y Tuxpeño-35 lo hicieron en el ambiente formado por Ocozocoautla de Espinosa y Vista Hermosa. Los ambientes más eficientes en la discriminación de poblaciones fueron Ocozocoautla de Espinosa y Úrsulo Galván. Las poblaciones de mayor rendimiento y estables a través de ambientes fueron Criollo amarillo-31 y Rocame-32 con potencial para responder en diferentes condiciones de sequía intraestival.

Palabras clave: *GGE biplot*, *SREG*, *Zea mays*.

ABSTRACT

In Chiapas 75% of corn cultivated area are maize landraces, and in the state there unexplored genetic diversity that can be used in breeding programs for grain yield and drought resistance. The objective of this research was to determinate the magnitude of genotype by environment interaction (G x A) of Chiapas maize landraces under contrasting drought conditions and select stable populations. Twenty-five maize landraces were evaluated in three contrasting environments, with a randomized complete block design. Grain yield was first analyzed with a combined analysis of variance. Subsequently, the regression sites (SREG) model were applied to study G x A interaction. Stability analysis was done using the graphical GGE biplot. There were significant differences between environments, population and environments by population interaction. According to the model the Tuxpeño-3 and Rocame-18 populations excelled in

¹ Recibido: 22 de abril de 2016.
Aceptado: 10 de junio de 2016.

Ursulo Galvan, while Precoz-16, Olotilo-34 and Tuxpeño-35 did in the environment formed by Ocozocoautla de Espinosa and Vista Hermosa. The most efficient environments in discriminating populations were Ocozocoautla de Espinosa and Ursulo Galvan. Populations of higher performance and stable across environments were Criollo Amarillo-31 and Tuxpeño-32 with potential to respond in different drought conditions.

Index words: *GGE biplot*, *SREG*, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

El maíz es patrimonio genético, agrícola, cultural y económico de la humanidad, México es centro de origen y diversificación de la especie (Kato *et al.*, 2009). A nivel nacional el estado de Chiapas ocupa el primer lugar en superficie sembrada (700 000 ha anuales en promedio) y el quinto lugar en producción de grano (1 188 000 t), con una media de rendimiento de 1.79 t ha⁻¹ (SIAP, 2015). Se estima que el 75% de la superficie cultivada en el estado es de maíces nativos (18 razas) y de generaciones avanzadas de variedades mejoradas (Ortega *et al.*, 2013; Coutiño *et al.*, 2015). El mayor potencial para la producción de maíz se encuentra en la Depresión Central del Estado, sin embargo, el principal problema es la sequía intraestival o “canícula”, responsable de gran parte de la superficie siniestrada y de los bajos rendimientos de grano (López y Villar, 1991; López *et al.*, 2008).

Un reto a enfrentar en la actualidad es el cambio climático, Hellin *et al.* (2014) discuten la posibilidad de que existan poblaciones de maíz nativo que son apropiadas para incluir en las estrategias de adaptación al cambio climático, en entornos pronosticados con largos periodos de sequía, calor extremo y precipitaciones irregulares en México y América Latina (Jones y Thornton, 2003), además, existe diversidad genética no explorada que puede ser utilizada en programas de mejoramiento genético para rendimiento de grano y resistencia a sequía.

Actualmente, existen metodologías para combinar materiales genéticamente mejorados con poblaciones de maíz nativo como donadores de características agronómicas útiles como la tolerancia a déficits de humedad (Ramírez-Díaz *et al.*, 2015). Sin embargo, el reto de los mejoradores es identificar genotipos que presenten alto rendimiento de grano y comportamiento estable a través de ambientes contrastantes; este es el primer paso para implementar un programa de mejoramiento genético que incluya poblaciones de maíz nativo sobresalientes (Luna *et al.*, 2015). La interacción genotipo x ambiente (IGA) ocurre cuando los genotipos responden de manera diferente a las variantes del ambiente, lo que impide avanzar en los procesos de selección (Bazinger *et al.*, 2012).

Existen diferentes metodologías que explican la IGA desde una perspectiva multivariada, con la técnica de componentes principales, los más utilizados son el modelo de efectos aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y el análisis de regresión en los sitios (SREG) (Yan *et al.*, 2007), este último se puede representar de manera gráfica considerando los dos primeros componentes principales (CP), el CP1 representa la proporción del rendimiento que se debe sólo a las características del genotipo (G), mientras que CP2 representa la parte del rendimiento debido a la interacción genotipo x ambiente (GE, por sus siglas en ingles), por lo que se denomina GGE biplot (Yan y Tinker, 2006).

El GGE biplot es una herramienta de visualización de datos que muestra la interacción en una gráfica de dos vías. El GGE biplot es eficaz para el análisis de mega-ambientes, por ejemplo el patrón “quien (que genotipo)-ganó-donde (en qué localidad)”, la evaluación de genotipos (desde

el punto de vista de estabilidad y rendimiento) y la evaluación de ambientes (poder discriminante) (Frutos *et al.*, 2014). Diversos estudios han demostrado la efectividad de la gráfica biplot para describir la IGA de poblaciones de maíz nativo (López, 2013; Ferraz *et al.*, 2013; Arellano *et al.*, 2014).

El objetivo de este estudio fue determinar la magnitud de la interacción genotipo por ambiente en poblaciones de maíz nativo del estado de Chiapas en ambientes contrastantes por sequía intraestival y seleccionar poblaciones en función de la estabilidad del rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

En el Centro de Chiapas se colectaron, con los agricultores de nueve localidades pertenecientes a cuatro municipios, 25 muestras poblacionales de maíz nativo en el periodo del 15 de enero al 15 de mayo de 2015: 18 fueron de grano blanco, 5 de amarillo, una de rojo y una de azul (Cuadro 1). Cada muestra se integró de 2 a 4 kg de semilla. En este estudio cada muestra se asume como población independiente por la diferenciación y manejo diferencial que hace el agricultor.

Ubicación de los experimentos

Los experimentos fueron conducidos durante el periodo primavera-verano de 2015 en tres localidades (ambientes) del Centro de Chiapas: Ocozocoautla de Espinosa (16° 46' LN y 93° 26' LO, altitud de 800 m) en un suelo de textura arenosa, Úrsulo Galván, Villaflores (16° 17' LN y 93° 26' LO, altitud de 726 m) en un suelo de textura arenosa y Vista Hermosa, Cintalapa (16° 32' LN y 93° 58' LO, altitud de 690 m) en un suelo de textura franco-arenoso. El riesgo de sequía intraestival para estos ambientes con base en el índice de humedad disponible se clasifica como moderado, deficiente y muy deficiente, respectivamente (López y Villar, 1991).

Diseño experimental, manejo agronómico y variables evaluadas

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron las 25 poblaciones de maíz colectadas. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5.0 m de longitud y 0.8 m de ancho, con una población final de 88 plantas, que corresponden a una densidad de 50 000 plantas ha⁻¹.

Las siembras del ensayo uniforme en cada uno de los tres ambientes contrastantes por sequía intraestival se realizaron el 02, 15 y 20 de julio de 2015 en Ocozocoautla de Espinosa, Úrsulo Galván y Vista Hermosa, respectivamente. Las poblaciones de maíz se evaluaron bajo condiciones de temporal. Se depositaron cuatro semillas cada 0.50 m entre puntos y 0.80 m entre surcos. Se hizo un aclareo previo a la fertilización para dejar dos plantas por punto. La fertilización en las tres localidades fue con la dosis 120-75-00, la primera fertilización se hizo a los 15 días después de la siembra (DDS) aplicando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno, la segunda mitad de nitrógeno se aplicó en la segunda fertilización a los 40 DDS. Las fertilizaciones se hicieron enterrando el fertilizante entre 5 y 10 cm utilizando macana (espeque). Para el control de plagas se usó Thiodicarb a razón de 1.0 L ha⁻¹ aplicado a los 35 DDS. Las malezas se controlaron de forma manual en los tres sitios.

Se estimó el rendimiento ajustando la humedad de grano al 14%, la parcela útil fueron los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

Cuadro 1. Poblaciones de maíz nativo utilizadas y localidades donde fueron colectadas.

Colecta	Nombre común	Municipio	Localidad	Altitud (m)	Latitud norte	Longitud oeste	Color de grano
CECECH-1	Jarocho	Villaflores	Guadalupe Victoria	580	16°27'	93°7'	Blanco
CECECH-3	Tuxpeño	Villaflores	Chanona	663	16°20'	93°25'	Blanco
CECECH-4	Tuxpeño	Suchiapa	Suchiapa	500	16°36'	93°03'	Blanco
CECECH-6	Sesentano	Villaflores	Cristóbal Obregón	642	16°25'	93°26'	Blanco
CECECH-7	Napalú	Suchiapa	Suchiapa	500	16°36'	93°03'	Blanco
CECECH-8	Jarocho	Suchiapa	Suchiapa	500	16°36'	93°03'	Amarillo
CECECH-10	Jarocho	Villaflores	Guadalupe Victoria	580	16°27'	93°7'	Blanco
CECECH-11	Rojo Criollo	Villaflores	Cristóbal Obregón	642	16°25'	93°26'	Rojo
CECECH-12	Chimbo	Suchiapa	Suchiapa	500	16°36'	93°03'	Amarillo
CECECH-13	Olotillo	Suchiapa	Suchiapa	500	16°36'	93°03'	Blanco
CECECH-15	Napalú	Suchiapa	Suchiapa	500	16°36'	93°03'	Blanco
CECECH-16	Precoz	Villaflores	Cristóbal Obregón	642	16°25'	93°26'	Blanco
CECECH-18	Rocame	Ocozocoautla	Ocozocoautla	800	16°46'	93°26'	Amarillo
CECECH-27	Criollo amarillo	Ocozocoautla	La Naranja	793	16°47'	93°25'	Amarillo
CECECH-30	Maíz azul	Ocozocoautla	La Naranja	793	16°47'	93°25'	Azul
CECECH-31	Criollo amarillo	Ocozocoautla	El Gavilán	755	16°47'	93°27'	Amarillo
CECECH-32	Rocame	Villaflores	Cristóbal Obregón	642	16°25'	93°26'	Blanco
CECECH-33	Maíz blanco	Villaflores	Cristóbal Obregón	642	16°25'	93°26'	Blanco
CECECH-34	Olotillo	Ocozocoautla	El Calvario	561	17°02'	93°31'	Blanco
CECECH-35	Tuxpeño	Cintalapa	Villamorelos	710	16°30'	93°55'	Blanco
CECECH-36	Olotillo	Cintalapa	Villamorelos	710	16°30'	93°55'	Blanco
CECECH-37	Dientilla	Cintalapa	Villamorelos	710	16°30'	93°55'	Blanco
CECECH-38	Opamil	Cintalapa	Villamorelos	710	16°30'	93°55'	Blanco
CECECH-39	Poblano	Cintalapa	Villamorelos	710	16°30'	93°55'	Blanco
CECECH-40	Americano	Cintalapa	Villamorelos	710	16°30'	93°55'	Blanco

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza combinado y la interacción genotipo ambiente se modeló con el método de regresión en los sitios (SREG). Se realizó la prueba de Gollob para determinar la significancia de cada componente principal. La

representación gráfica, se hizo utilizando el método gráfico GGE-biplot. El análisis de varianza se resolvió con el sistema SAS (SAS, 2000) mientras que para el modelo SREG se utilizó el programa GEA-R (Pacheco *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado para rendimiento de grano detectó diferencias significativas entre ambientes ($p < 0.01$), poblaciones ($p < 0.01$) y la interacción ambientes por poblaciones ($p < 0.05$) (Cuadro 2). Estos resultados demuestran que las poblaciones tienen un comportamiento diferencial en los ambientes probados. Resultados similares fueron reportados para poblaciones de maíz raza Chalqueño (Arellano *et al.*, 2014), la raza Jala en Nayarit (Montes-Hernández *et al.*, 2014) y poblaciones de maíz de Cuba (Ferraz *et al.*, 2013).

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística del rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) de poblaciones de maíz nativo evaluadas en tres ambientes contrastantes por sequía intraestival.

Variable	Ambientes	Bloque(Ambientes)	Poblaciones	Ambientes x Poblaciones	Error total	C.V (%)
Rendimiento	239.6**	0.31ns	2.03**	0.71*	0.4	22.9

* y ** significativo a nivel de $p < 0.05$ y $p < 0.01$, respectivamente; ns = no significativo; CV = coeficiente de variación.

La prueba de Gollob demuestra que los dos primeros componentes son significativos y que en conjunto explican el 93.9% de la variación, 70.5% para el Componente 1 y 23.4% para el Componente 2 (Cuadro 3). Estos resultados permiten una interpretación confiable de la interacción genotipo ambiente, ya que un valor aceptable para ésta es una proporción mayor a 75% (Ledesma-Ramírez *et al.*, 2012).

Cuadro 3. Prueba de Gollob utilizada para obtener la significancia estadística de las componentes del modelo SREG para las 25 poblaciones de maíz nativo evaluadas en tres ambientes contrastantes.

Componente	Suma de cuadrados	% explicado [±]	% acumulado	Cuadrados medios
CP1	58.66	70.55	70.55	2.34**
CP2	19.45	23.4	93.95	0.84**
CP3	5.02	6.04	100	0.23

[±]Porcentajes con respecto a la suma de cuadrados de la interacción genotipo ambiente.

En el cuadro 4 se presentan los valores promedio de rendimiento de las poblaciones evaluadas en cada ambiente, los valores variaron desde $6.4\ t\ ha^{-1}$ hasta $0.1\ t\ ha^{-1}$. El rendimiento de grano fue mayor en Ocozocoautla, que superó a Úrsulo Galván, y éste a Vista Hermosa. En Ocozocoautla y Vista Hermosa la sequía intraestival se presentó en la etapa vegetativa (25 y 30 días, respectivamente), mientras que en Vista Hermosa se extendió hasta las etapas de floración y

llenado de grano (40 días en total). Según Bazinger *et al.*, (2012) el rendimiento de grano del maíz es afectado por la sequía en todas las etapas de su desarrollo, sin embargo, el cultivo es más susceptible durante la floración y llenado de grano. En Ocozocoautla y Úrsulo Galván la temperatura ambiental fue adecuada (medias de 19 a 25 °C) para el desarrollo del cultivo del maíz, lo cual favoreció que las poblaciones presentaran en promedio la mejor expresión en rendimiento. Las altas temperaturas prevalecientes en Vista Hermosa, que oscilaron entre 26 y 28 °C con máximas de hasta 39 °C, incidentes en las etapas de floración y llenado de grano, redujeron el rendimiento de grano (INIFAP, 2015).

La respuesta promedio de los ambientes se correlacionó con los estudios de potencial productivo descritos a nivel municipal por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias para el estado de Chiapas (López *et al.*, 2008). Los valores de la diferencia mínima significativa fueron acorde con la variación ambiental, la formación de grupos fue diferente entre localidades.

Las poblaciones Tuxpeño-3, Precoz-16, Criollo amarillo-31, Rocame-32 y Olotillo-34 fueron las de mayor rendimiento a través de ambientes, mientras que las poblaciones Jarocho-1, Tuxpeño-4, Criollo amarillo-31, Rocame-32 y Olotillo-36 presentaron los valores absolutos más bajos del CP2 (Cuadro 4), indicando pequeñas interacciones y por ende pueden ser considerados como las más estables a través de ambientes (Ledesma-Ramírez *et al.*, 2012).

En la Figura 1 se presenta la gráfica GGE biplot, Yan *et al.* (2000) mencionan que el componente principal 1 (CP1) se encuentra altamente correlacionado con el genotipo, y representa la proporción del rendimiento que se debe sólo a las características del genotipo (G). El segundo componente (CP2) representa la parte del rendimiento debido a la interacción genotipo x ambiente (GE), en la gráfica de esta evaluación se observa que los cuadrantes inferior y superior izquierdo agruparon a las poblaciones con rendimiento de grano superior al promedio general.

Según el modelo SREG, los ambientes que tienden a jerarquizar de manera similar a las poblaciones son Ocozocoautla de Espinosa y Vista Hermosa, mientras que Úrsulo Galván formó un estrato independiente, sin embargo, es necesario repetir la evaluación en múltiples años para generar conclusiones definitivas y seleccionar los mejores ambientes de selección para la respuesta a sequía (Yan y Tinker, 2006; Yan *et al.*, 2007). Por la longitud de los vectores (Figura 1) y los valores absolutos de los CP (Cuadro 4), los ambientes que mejor discriminaron a los genotipos en esta evaluación fueron Ocozocoautla y Úrsulo Galván, según los criterios descritos por Frutos *et al.* (2014).

El GGE biplot permite identificar grupos extremos de poblaciones y de localidades; por ejemplo, para Ocozocoautla y Vista Hermosa las poblaciones más sobresalientes fueron Precoz-16, Olotillo-34 y Tuxpeño-35 de grano color blanco, por su parte, para Úrsulo Galván las poblaciones más sobresalientes fueron la Tuxpeño-3 y Rocame-18 de grano color blanco y amarillo, respectivamente (Figura 1). Las poblaciones que se consideraron estables fueron Jarocho-1, Olotillo-36 y Criollo amarillo-27 con rendimientos similares al promedio general (2.8 t ha⁻¹), por su parte, las poblaciones Criollo amarillo-31 y Rocame-32 fueron las de mayor rendimiento y estables a través de ambientes según el modelo SREG (Yan *et al.*, 2007; Frutos *et al.*, 2014), estas variedades son aptas para incorporarse en esquemas de mejoramiento para tolerancia a sequía debido a su respuesta positiva en diferentes gradientes de sequía como lo fueron los ambientes de este estudio.

Cuadro 4. Promedio del rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) de 25 poblaciones de maíz nativo evaluadas en tres ambientes contrastantes por sequía intraestival y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales.

Población	Localidades			Promedio	CP1	CP2
	Ocozocoautla	Úrsulo Galván	Vista Hermosa			
CECECH-1	5.3	2.9	0.2	2.8	-0.12	-0.02
CECECH-3	5.8	3.9	0.8	3.5	-0.65	-0.34
CECECH-4	5.6	2.8	0.2	2.9	-0.23	0.19
CECECH-6	4.4	3.1	0.5	2.7	0.17	-0.38
CECECH-7	4.2	1.6	0.5	2.1	0.64	0.44
CECECH-8	4.1	1.6	0.4	2	0.73	0.41
CECECH-10	4.3	3.0	0.1	2.4	0.30	-0.38
CECECH-11	4.9	2.4	0.3	2.5	0.17	0.16
CECECH-12	4.3	2.0	0.7	2.3	0.46	0.27
CECECH-13	3.4	2.0	0.3	1.9	0.91	-0.05
CECECH-15	4.5	0.9	0.1	1.8	0.73	0.90
CECECH-16	6.9	2.9	1.6	3.8	-0.95	0.70
CECECH-18	4.7	3.9	0.2	2.9	-0.15	-0.77
CECECH-27	5.0	3.0	0.1	2.7	0.00	-0.15
CECECH-30	3.6	3.4	0.4	2.5	0.45	-0.83
CECECH-31	6.2	3.8	1.1	3.7	-0.87	-0.12
CECECH-32	6.4	4.0	1.2	3.8	-1.00	-0.13
CECECH-33	5.3	3.3	0.5	3.0	-0.26	-0.21
CECECH-34	6.3	3.3	0.9	3.5	-0.76	0.18
CECECH-35	6.5	2.5	1.2	3.4	-0.63	0.76
CECECH-36	5.3	2.7	0.6	2.8	-0.11	0.15
CECECH-37	4.0	2.5	0.4	2.3	0.53	-0.14
CECECH-38	3.7	2.2	1.2	2.3	0.63	0.04
CECECH-39	4.8	3.1	0.2	2.7	0.04	-0.30
CECECH-40	4.6	3.3	0.8	2.9	-0.01	-0.39
Promedio	4.9	2.8	0.6	2.8		
DMS _{0.05}	1.7	1.4	0.4			
CP1	-1	-0.61	-0.3			
CP2	0.4	-0.78	0.2			

DMS = diferencia mínima significativa.

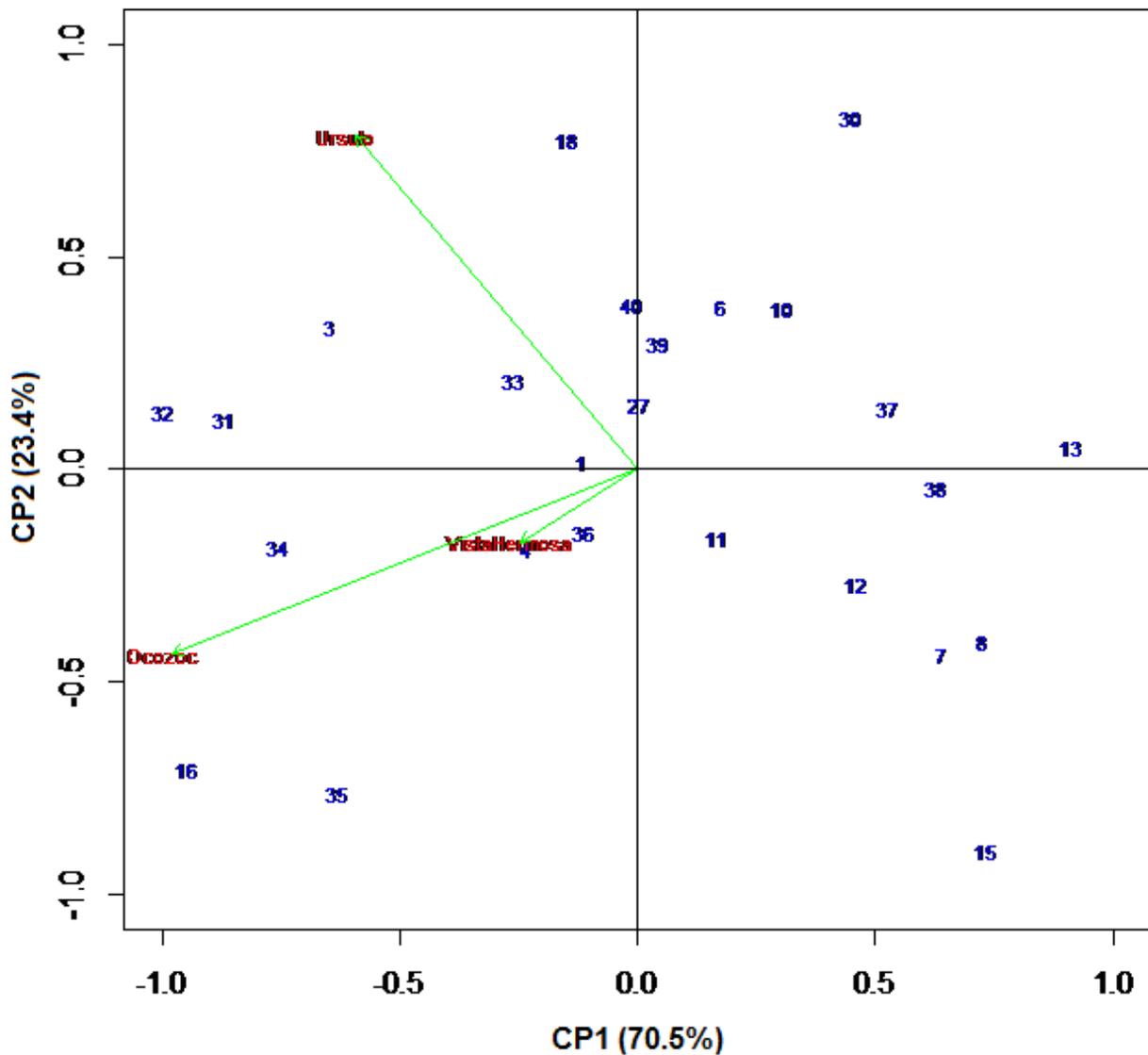


Figura 1. GGE Biplot (SREG) para 25 poblaciones de maíz nativo evaluadas en tres ambientes contrastantes por sequía intraestival.

Bazinger *et al.* (2012) mencionan que a causa de la intensa interacción genotipo x ambiente que presentan los ensayos en condiciones de estrés, estos suelen producir ordenamientos que difieren significativamente de un ensayo a otro, es por ello que los programas de mejoramiento genético que pretenden incorporar material con tolerancia a sequía, deben identificar aquellos genotipos con estabilidad para lograr avances significativos en la selección.

Actualmente, existen metodologías para combinar materiales mejorados con poblaciones de maíz nativo como donadores de características agronómicas útiles como la tolerancia a déficits de humedad (Ramírez-Díaz *et al.*, 2015). Por lo tanto, seleccionar maíces nativos con estabilidad para una región determinada permite usar esta diversidad genética en programas de mejoramiento en los nuevos entornos de cambio climático que agudizan los niveles de estrés por sequía.

En maíces nativos de color azul de la raza chalqueño, Arellano *et al.* (2014) reportaron la evaluación de 25 poblaciones en seis ambientes contrastantes, analizadas mediante la gráfica biplot, el 32% de las variedades se seleccionaron como estables pero de bajo rendimiento, excepto la población 22 originaria de Cocotitlan que presentó alto rendimiento y comportamiento estable. En otro estudio, se evaluaron 14 poblaciones de maíz de la raza Jala en cinco ambientes y la IGA se modeló con la gráfica GGE biplot; la población UAN-2010 se identificó como las más estable pero su rendimiento de grano fue igual al promedio general (López, 2013).

Los estudios realizados por Ferraz *et al.* (2013) demuestran que los modelos que involucran los gráficos biplot son útiles para determinar la intensidad y la naturaleza de la IGA en poblaciones de maíz nativo bajo condiciones de sequía, tal como sucede con los genotipos mejorados (Oyekunle *et al.*, 2015; Lozano-Ramírez *et al.*, 2015).

Hellin *et al.* (2014) discuten la posibilidad de que actualmente existan poblaciones de maíz nativo que son apropiadas para incluir en las estrategias de adaptación al cambio climático, además, existe diversidad genética no explorada que puede ser utilizada en programas de mejoramiento genético para rendimiento de grano y resistencia a sequía. Por lo tanto, es importante la identificación de maíces nativos con potencial para derivar variedades mejoradas tolerantes a sequía (Luna *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

El modelo explicó el 93.9% de los efectos combinados de poblaciones y la interacción poblaciones por ambientes para el rendimiento de grano, lo que permite mejorar el proceso de selección. De acuerdo con el modelo GGE biplot, Tuxpeño-3 y Rocame-18 sobresalieron en Úrsulo Galván, mientras que Precoz-16, Olotillo-34 y Tuxpeño-35 lo hicieron en el ambiente formado por Ocozocoautla de Espinosa y Vista Hermosa. Los ambientes más eficientes en la discriminación de genotipos fueron Ocozocoautla de Espinosa y Úrsulo Galván. Las poblaciones de mayor rendimiento y estables a través de ambientes fueron Criollo amarillo-31 y Rocame-32, estas poblaciones se recomiendan como las mejores adaptadas en ambientes con presencia de sequía intraestival y deben ser consideradas en programas de mejoramiento genético para resistencia a sequía.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al INIFAP, por su apoyo económico al proyecto de investigación “generación de tecnologías para mitigar los efectos de la sequía intraestival en cultivos estratégicos (maíz, frijol y trigo) en el sur-sureste de México”. A los Señores Mario Hernández, Gonzalo Figueroa e Hilario Alegría por compartir su experiencia durante el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Arellano, V. J. L., I. Rojas M. y G. F. Gutiérrez H. 2014. Variedades de maíz azul Chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(8):1469-1480.
- Bazinger, M., G. O Edmeades, D. Beck y M. Bellon. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México. D. F.; CIMMYT. 61p.

- Coutiño, E. B., V. A. Vidal M., C. Cruz V. y M. Gómez G. 2015. Características eloteras y de grano de variedades nativas de maíz de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5): 119-1127.
- Ferraz, T. Y., N. Permy A. y R. Acosta R. 2013. Evaluación de accesiones de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de sequía en dos zonas edafoclimáticas del municipio Gibara, provincia Holguin. *Evaluación morfoagronómica y estudios de la interacción genotipo x ambiente. Cultivos Tropicales*. 34(4): 24-30.
- Frutos, E., M. P. Galindo and V. Leyva. 2014. An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 28:1629-1641.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2015. Red de estaciones del inifap. Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/> (Consultado: 30/12/2015).
- Hellin, J., M. R. Bellon and S. J. Hearne. 2014. Maize landraces and adaptation to climate change in Mexico. *Journal of Crop Improvement*. 28(4): 484-501.
- Jones, P. G and P. K. Thornton. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*. 13: 51-59.
- Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos y R. A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Autónoma de México, Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116p.
- Ledesma-Ramírez, L., E. Solís-Moya, M. P. Suaste-Franco, J. F. Rodríguez-Caracheo y M. L. dela Cruz-González. 2012. Análisis GGE biplot del rendimiento de trigo (*Triticum* spp) con riego normal y restringido en el bajío, México. *Agrociencia*. 46:119-131.
- López, L. A. y B. Villar S. 1991. Análisis climático de la región Centro de Chiapas y zonificación de áreas con riesgo de sequía intraestival. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Centro de Chiapas. Publicación No. 1. 41p.
- López, B. W., A. López L., B. Coutiño E., R. Camas G., B. Villar S., J. López M., V. Serrano A., P. Cadena I., A. Zamarripa M. y C. Sandoval M. 2008. Zonas potenciales y recomendaciones técnicas para la producción sustentable de maíz en Chiapas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozacoautla de Espinosa, Chiapas. Libro técnico Num 1. 228p.
- López, G. J. A. 2013. Evaluación agronómica e interacción genotipo-ambiente en poblaciones de maíz de la raza Jala. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 54p.
- Lozano-Ramírez, A., A. Santaruz-Varela, F. San-Vicente-García, J. Crossa, J. Burgueño y J. D. Molina-Galán. 2015. Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(4):337-347.
- Luna, F. M., S. García H., J. Martínez G., M. G. Luna E., A. Lara H., F. Villagrana S., F. J. Cedeño B., J. J. Llamas L. y J. J. Avelar M. 2015. Variedades mejoradas de maíz de secano derivadas de variedades nativas tolerantes a sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(7): 1455-1466.
- Montes-Hernández, L. A., J. A. Hernández-Guzmán, H. López-Sánchez, A. Santacruz-Varela, H. Vaquera-Huerta y R. Valdivia-Bernal. 2014. Expresión fenotípica *in situ* de características agronómicas y morfológicas en poblaciones del maíz raza Jala. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37(4): 363-372.

- Ortega, C. A., M. J. Herrera H. y R. Preciado O. 2013. Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro técnico Num. 7. 263p.
- Oyekunle, M., B. Badu-Apraku and M. E. Aken'Ova. 2015. Genetic variability for drought tolerance in early-maturing maize inbreds under contrasting environments. *Maydica*. http://www.maydica.org/ms_604_033.html. (Consultado: 10/04/2016).
- Pacheco, A., M. Vargas, G. Alvarado, F. Rodríguez, J. Crossa y J. Burgueño. 2015. "GEA-R (Genotype x Environment Analysis with R for Windows) Version 2.0", <http://hdl.handle.net/11529/10203> International Maize and Wheat Improvement Center.
- Ramírez-Díaz, J. L., A. Ledesma-Miramontes, V.A. Vidal-Martínez, N. O. Gómez-Montiel, J. A. Ruiz-Corral, G. A. Vázquez-Cardelas, J. Ron-Parra, Y. Salinas-Moreno y L. A. Nájera-Calvo. 2015. Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas útiles en híbridos comerciales. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(2): 119-131.
- SAS. 2000. Statistical Analysis System. Software Release 8.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> (Consultado: 15/12/2015).
- Yan, W., A. Hunt, Q. Sheng and Zslavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*. 41: 597-605.
- Yan, W. and N. A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*. 86: 623-645.
- Yan, W., M. S. Kang, B. Ma, S. Woods and P. L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*. 47: 641-653.

SUSTENTABILIDAD DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN OVINA EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA¹

[SUSTAINABILITY OF THREE SHEEP PRODUCTION SYSTEMS IN THE CENTRAL VALLEY OF OAXACA]

Javier Cruz-Mendoza¹, Yuri Villegas-Aparicio^{2§}, Martha P. Jerez-Salas², María I. Pérez-León², Julio Cesar Vinay-Vadillo³, Ernesto Castañeda-Hidalgo²

¹Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). ²Profesor-Investigador-ITVO, Ex-Hacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71230. ³Investigador del Centro Experimental "La Posta", INIFAP, km 22.5 carretera Veracruz-Córdoba, Paso del Toro. [§]Autor para correspondencia: (yuriva1968@gmail.com).

RESUMEN

Los sistemas de producción pecuaria están relacionados con indicadores productivos, económicos, sociales y ambientales, cuyas relaciones definen su sustentabilidad; es básico estudiarlos para entenderlos, mejorarlos y propiciar su eficiencia. Bajo este contexto, el objetivo fue evaluar la sustentabilidad que presentan tres sistemas de producción ovino (extensivo, semi intensivo e intensivo) en los valles centrales de Oaxaca. Se utilizó la metodología "Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad" (MESMIS), que permitió caracterizar las propiedades o atributos socioeconómicas socioeconómicos y ecológicos en los tres sistemas de producción, identificando de manera práctica los principales problemas y potencialidades con respecto al grado de sustentabilidad que tienen los diferentes unidades de producción ovina analizadas. La sustentabilidad se evaluó con 23 indicadores: siete económicos, nueve ambientales y siete sociales, indicando que el sistema de producción semi-intensivo es potencialmente sustentable; y los sistemas intensivo y extensivo, medianamente sustentable.

Palabras clave: *Borregos, unidades de producción, sustentabilidad.*

ABSTRACT

Livestock production systems are related to productive, economic, social and environmental indicators, whose relations define their sustainability; basic study is necessary to understand them, improve and promote their efficiency. In this context, the objective was to assess the sustainability that have three sheep production systems (extensive, semi-intensive and intensive) in the Central Valleys of Oaxaca. The "Assessment Framework Management Systems Incorporating Sustainability Indicators" methodology was used (MESMIS), that allowed

¹ Recibido: 15 de marzo de 2016.
Aceptado: 15 de junio de 2016.

characterize the properties or socioeconomic and ecological attributes in three production systems, practically identifying the main problems and potential with respect to the degree of sustainability that different sheep production units analyzed. Sustainability was assessed with 23 indicators: seven economic, nine environmental and seven social, indicating that the semi-intensive system is potentially sustainable production; and intensive and extensive systems, moderately sustainable.

Index words: *Sheep, production units, sustainable.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los temas de interés es la sustentabilidad de los sistemas productivos agropecuarios y forestales. Esta sustentabilidad se pretende lograr mediante un conjunto de acciones encaminadas a la conservación de los recursos naturales y socio-culturales del planeta, las que permiten el bienestar de las presentes y futuras generaciones (Corral y Domínguez, 2011). En donde se analiza a la agricultura y ganadería como un sistema integral, no solo para aumentar rendimientos de los cultivos o especies económicamente importantes, sino para encontrar un equilibrio en el sistema con interacciones entre los componentes biofísicos y socioeconómicos muy variados y complejos (Cotler y Fregoso, 2006; Sarandón y Flores, 2009; Castillo *et al.*, 2012; Morales-Hernández *et al.*, 2013). Además de la importancia que tiene para la humanidad, existe una fuerte presión sobre los recursos naturales ejercida por la creciente población humana.

Esto se ha manifestado desde hace 200 años, lo que ha provocado que se intensifique la velocidad de desertificación de millones de hectáreas en el mundo, incidiendo en la erosión del suelo (Becerra, 1998). El desarrollo sustentable en la agricultura, es aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población (Sarandón y Flores, 2009) y que continuará evolucionando a través del tiempo (Ramírez *et al.*, 2004), así también como un proceso de cambio (Macías-Cuellar *et al.*, 2006), todo parece indicar que la idea de fondo, es la de hacer compatible el medio ambiente con el desarrollo (López, 2006) y de la habilidad de un agroecosistema para mantener la producción a través del tiempo, sin que se degrade el sistema (Restrepo *et al.*, 2000; Achkar *et al.*, 2005; Gonzales-de Molina, 2011), dando con esto el bienestar de las presentes y futuras generaciones (Macías-Cuellar *et al.*, 2006; Corral y Domínguez, 2011).

La agricultura sustentable tiene por objetivo una producción agrícola que satisfaga las necesidades de la población mediante el aprovechamiento racional de los recursos disponibles, al mismo tiempo que mantiene o mejora la calidad del medio ambiente y conserva los recursos naturales. Como premisa, se indica que los sistemas agrícolas sostenibles deben ser económicamente viables y minimizar la degradación de los recursos naturales (Jiménez y Lamo-de Espinosa, 1998); ya que el sector agropecuario continua produciendo bajo un sistema tradicional, lo que propicia el deterioro de los recursos naturales (Arias y Camargo, 2007).

Bajo este contexto, todo sistema de producción pecuaria está relacionado con indicadores productivos, económicos, sociales y ambientales, cuyas relaciones definen su sustentabilidad. El

conocimiento y análisis de indicadores productivos económicos, sociales y ambientales de dichos sistemas de producción es básico para entenderlos, mejorarlos y propiciar su eficiencia (Martínez *et al.*, 2003; Zinck *et al.*, 2005; Cruz, 2006). En este sentido, el objetivo fue evaluar la sustentabilidad en tres sistemas de producción ovino en los Valles Centrales de Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la región de Valles Centrales de Oaxaca donde se seleccionaron tres sistemas de producción ovino, dos localizadas en el municipio de Tlacolula de Matamoros, el sistema de manejo extensivo “Rancho los Fresnos” (SE) localizado en la calle 2 de abril en las coordenadas 16°57'43.63" latitud norte y 96°26'38.56" longitud oeste a una elevación de 1 605 msnm.

El sistema semi intensivo ubicado en el “Rancho La Palma” (SSI), ubicado en el paraje “El Pipal” en la colonia el Pipe de la carretera al Istmo de Tehuantepec, a una distancia de 48 km de la Ciudad de Oaxaca, entre 16°58'41.52" latitud Norte y 96°30'34.25" longitud Oeste y 1604 msnm. El sistema de producción ovino intensivo ubicado en el “Rancho El Carmen” (SI) se sitúa en el municipio de Zaachila, en el km 10 de la carretera a Emiliano Zapata entre los 16°56'22.60" latitud norte y 96°43'24.19" latitud oeste y 1507 msnm.

Para la evaluación de la sustentabilidad se empleó la metodología MESMIS propuesta por Masera *et al.* (2000) la cual consiste en seis pasos: determinación del objeto de estudio (caracterización), determinación de los puntos críticos del sistema, selección de indicadores estratégicos, medición y monitoreo de indicadores, presentación e integración de resultados; y conclusiones y recomendaciones.

Inicialmente se caracterizaron las unidades de producción, que representan a cada sistema de producción, para posteriormente realizar la medición de la sustentabilidad, donde se utilizaron 23 indicadores correspondientes a los siete atributos del agroecosistema (productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad autodependencia y equidad) (Cuadro 1). Se realizó una descripción de cada unidad de producción ovina, identificándose los componentes, los insumos, los flujos internos y productos generados.

La información fue generada en las tres unidades de producción aplicándose una entrevista semi-estructurada que evaluó aspectos socioeconómicos, ecológicos y de manejo, adicionalmente, se realizaron pláticas informales con los productores, visitas de reconocimiento, muestreos y mediciones en campo. Finalmente se realizaron comparaciones entre las variables estudiadas, considerando los tres sistemas de producción y un punto de referencia como punto óptimo (parámetros nacionales).

Para dar valor cualitativo a los datos de los indicadores, se calculó el índice de sustentabilidad para cada índice. Esto se realizó de acuerdo a la proporción existente del valor del indicador frente al parámetro establecido, escogiendo una escala de medición de 0-100, donde 0 es el valor más bajo y 100 el valor ideal (Cuadro 2).

Cuadro 1. Indicadores de sustentabilidad de los sistemas de producción ovino.

Atributo	Punto crítico	Criterio de diagnóstico	Índices
Productividad	Baja rentabilidad	Rentabilidad	Relación B/C
	Baja productividad	Rendimiento del sistema	Rendimiento en kg carne hembra/año
	Ineficiencia del sistema	Eficiencia	Porcentaje de cobertura vegetal Rendimiento de forraje
Estabilidad, Confiabilidad y Resiliencia	Desventaja en la comercialización	Vulnerabilidad económica	Diversificación de mercado
	Poca diversidad productiva	Diversidad productiva	Diversidad de productos
	Variación de los precios de productos	Vulnerabilidad económica	Estabilidad en el precio de ovino en pie
	Degradación del suelo	Calidad del suelo	Materia orgánica, pH Fosforo Potasio
	Salinización del recurso agua	Calidad del agua	Calidad de agua para riego Calidad de agua para uso animal
	Alta presión sobre los recursos naturales	Vulnerabilidad ecológica	Presión antropogénica
	Incorporación de innovaciones tecnológicas y capacidad de cambio	Capacidad de innovación	Índice de nivel tecnológico
Autodependencia	Ausencia de organizaciones	Organización	Poder de decisión sobre aspectos críticos del sistema Tipo y permanencia de las organizaciones
	Alta dependencia de insumos y recurso externos	Autosuficiencia	Autonomía de insumos Autonomía laboral Dependencia de recursos externos
	Falta de planificación y registros	Herramientas para ordenar la producción del rancho	Registro de producción
Equidad	Escasa generación de empleos	Empleo generado	Número de empleos generados
	Integración familiar al proceso	Dinámica familiar en el Rancho	Integración familiar

Cuadro 2. Valoración cualitativa de la sustentabilidad (Arias y Camargo, 2007).

Nivel de sustentabilidad	Índice de sustentabilidad
Sustentable	>80-100
Potencialmente sustentable	>60-80
Medianamente sustentable	>40-60
Potencialmente insustentable	>20-40
Insustentable	0-20

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres sistemas de producción ovina tienen una fuerte diferenciación socioeconómica, tecnológica y productiva. En el sistema extensivo (Figura 1) y semi intensivo (Figura 2) por lo que realizan el pastoreo reducen los costos de alimentación; el sistema intensivo (Figura 3) es la que tiene mejores terrenos para la producción debido al tipo del relieve que es de llanura y a la disponibilidad de del recurso agua. El sistema intensivo y semi intensivo muestran mayor nivel tecnológico que el sistema intensivo; se presenta en los tres sistemas alta presión antropogénica por lo que falta congruencia entre el uso y conservación de los recursos naturales agua, suelo y vegetación, lo cual requiere de tener alternativas de producción sustentable.

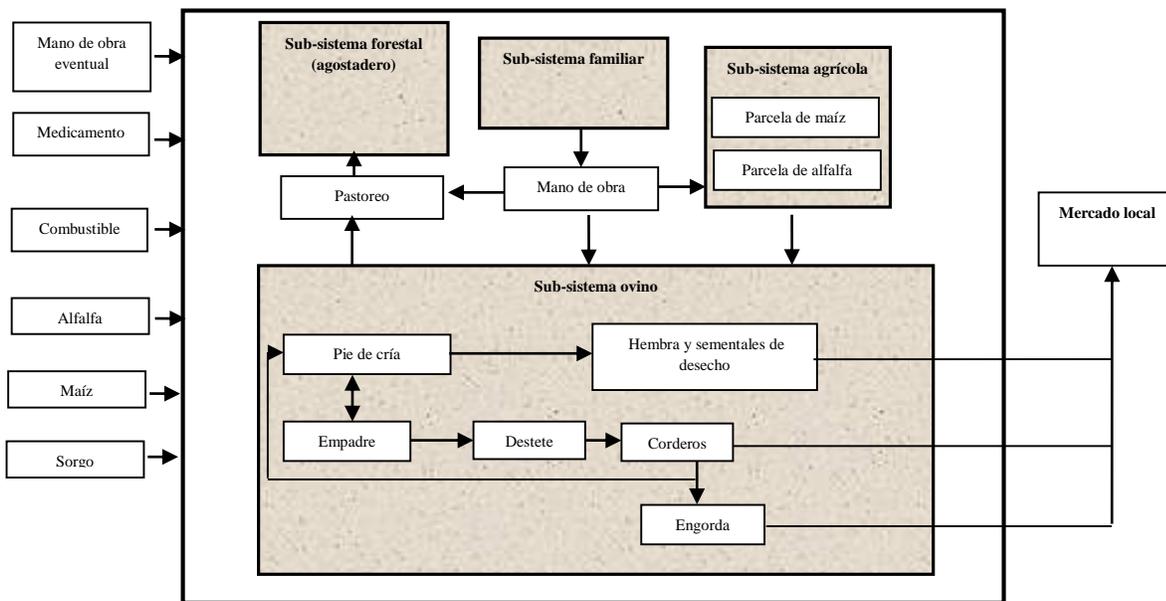


Figura 1. Sistema de producción ovino extensivo.

En el Cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos de cada índice evaluado, así como el umbral que se tomó como referencia al valor óptimo para cada indicador, los valores se homogenizaron para poderlos graficar en una figura radial “diagrama AMIBA” (Figura 4). La metodología permitió evaluar la sostenibilidad, al igual que Nasca *et al.* (2006), Casado y Alonso (2007) y Castelán *et al.* (2014), considerando adecuada esta estrategia para sistemas agrarios.

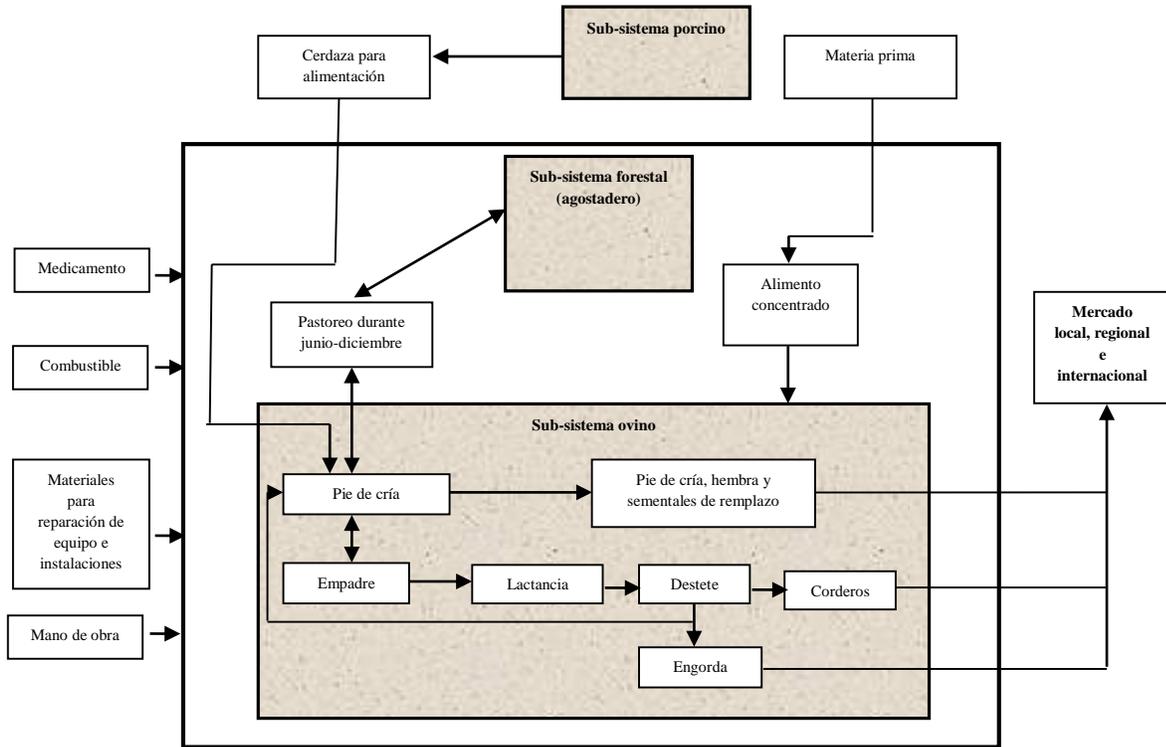


Figura 2. Sistema de producción ovino semiintensivo.

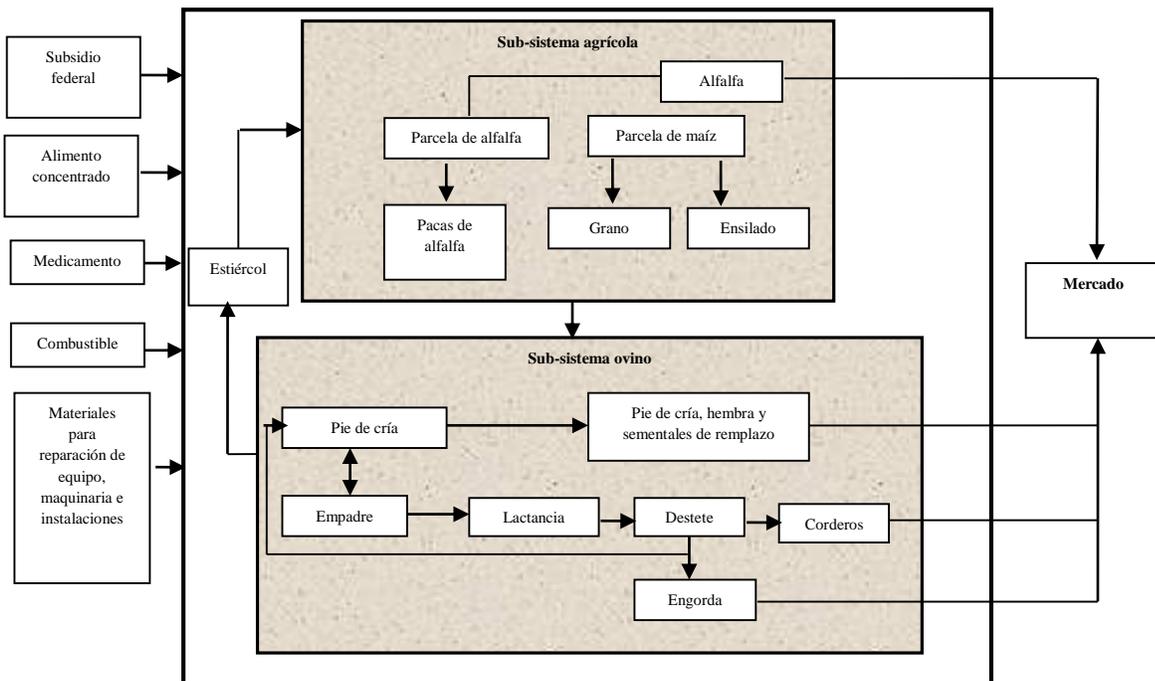


Figura 3. Sistema de producción ovino intensivo.

Cuadro 3. Resultado obtenido de la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción ovino por índice.

Índice	SI		SSI		SE		Valor de referencia		Umbral
	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%	
Relación B/C	0.68	61.8	1.0	94.5	0.47	42.7	1.1	100	Vilaboa <i>et al.</i> , 2006
Rendimiento en kg carne vientre/año	44.80	78.1	38.79	67.8	28.84	50.4	57.2	100	Vilaboa <i>et al.</i> , 2006
Porcentaje de cobertura vegetal	11.02	11.0	32.46	32.4	18.74	18.7	100	100	Contreras-Hinojosa <i>et al.</i> , 2003
Rendimiento de forraje	2,790	7.1	36.7	10.5	10.5	3.0	3,200 349.2	100 100	Rivas <i>et al.</i> , 2005 (SI) Nieva-Montalvo, 2007 (SE y SSI)
Diversificación de mercado	2	40	4	80	1	20	5	100	Mercado local, regional, estatal, nacional e internacional
Diversidad de productos	5	100	4	80	2	40	5	100	Venta de pie de cría, corderos, engorda, animales de desecho y forraje
Estabilidad en el precio de ovino en pie	Estable	50	Estable	50	Estable	50	Alta	100	Alta (100%), estable (50%), baja (0%)
Materia orgánica	1.89	31.5	1.93	32.1	3.29	54.8	>-6	100	NOM-021-RECNAT- 2000 (DOF, 2003)
pH	6.6	100	5.6	50	7.2	100	6.6-7.3	100	NOM-021-RECNAT- 2000
Fosforo	7.3	67.1	12.5	100	52.3	100	>-11	100	NOM-021-RECNAT- 2000
Potasio	0.448	74.6	1.7	100	1.4	100	>-0.6	100	NOM-021-RECNAT- 2000
Calidad de agua para uso de riego	50	50	50	50	0	0	100	100	CE y RAS Excelente 100; uso restringido 50; no recomendable 0.
Calidad de agua para uso animal	668.2 mg/l	100	1345.2 mg/l	100	2,318.3 mg/l	100	< 3000 mg/l	100	Sales Totales (ST) Flores y Rochinotti, 2007
Presión antropogénica	alta	25	Muy alta	0	Muy alta	0	Muy baja	100	Muy alta 0; alta 25; media 50; baja 75 y muy baja 100.
Índice de nivel tecnológico	13	68.4	14	73.6	8	42.1	19	100	López <i>et al.</i> , 2008
Poder de decisión sobre aspectos críticos del sistema	2	66.6	2	66.6	3	100	>3	100	Personas que toman decisiones
Tipo y permanencia de las organizaciones	58.3	58.3	100	100	36.1	36.1	Organiza ción formal y 9 años	100	Organización formal: 100, organización informal: 50 y permanencia de 9 años Valor máximo posible
Auto dependencia de insumos	40	40	25	25	37.5	37.5	100	100	
Autonomía laboral	0	0	0	0	100	100	100	100	Vilaboa <i>et al.</i> , 2006
Autonomía financiera	79.6	76.6	100	100	100	100	100	100	Valor máximo posible
Registro de producción	1	20	5	100	1	20	5	100	5 clases de registro (Arias y Camargo, 2007).
Número de empleos generados	2	100	2.2	100	1	50	>2	100	Personas contratadas
Integración familiar	1	25	1	25	2	100	Todos	100	Todos 100, 3 integrantes 75, 2: 50, 1: 25, 0: 0. (Arias y Camargo, 2007)

SI: Sistema Intensivo. SSI: Sistema Semi Intensivo. SE: Sistema Extensivo. B/C: Beneficio:Costo.

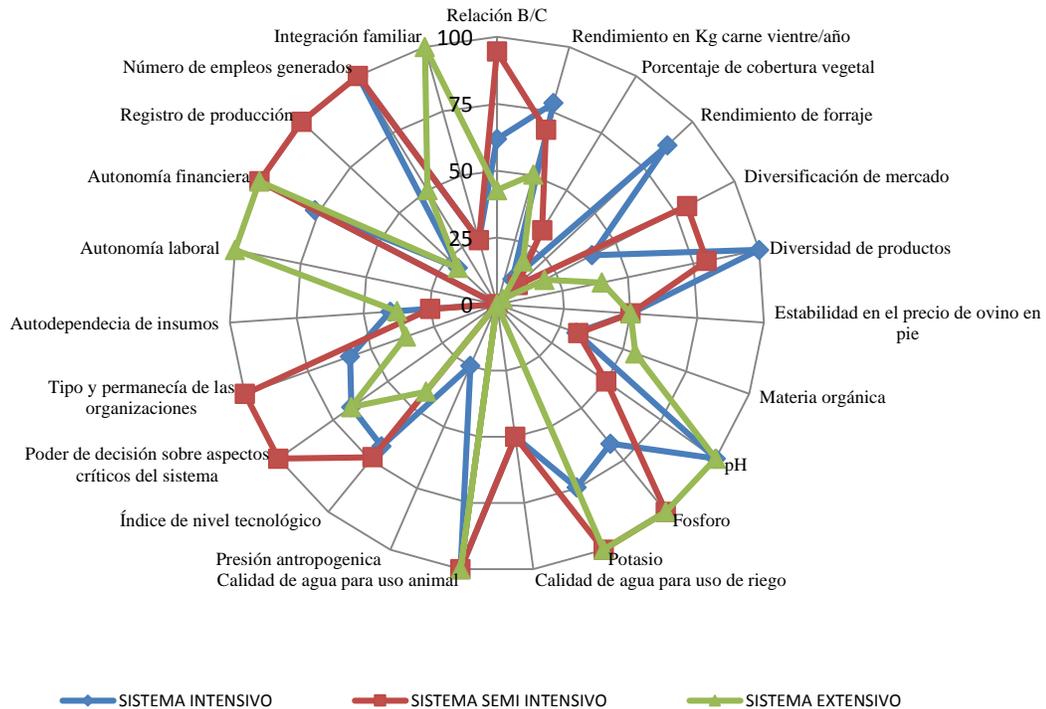


Figura 4. Diagrama de sustentabilidad de los sistemas de producción ovino. B/C = beneficio-coste.

Los tres sistemas de producción ovina evaluados muestran diferencia en los distintos atributos:

Productividad

El SSI presenta un mayor beneficio económico y mejor producción de carne por vientre al año, esto, porque la actividad ovina genera ganancia haciéndolo rentable comparado con el SI y SE que generan pérdidas (Cuadro 3) esto coincide con Romo *et al.* (2014). En el caso del SI tienen menor rentabilidad económica, en cambio el SE tiene mayor costo variable por la mano de obra, el análisis financiero se consideró, pero cabe señalar que éste es un costo de oportunidad lo cual le permite autoemplearse pero no obtener un beneficio económico.

En la productividad el SI presentó mayor producción de forraje comparado con el valor óptimo, en SSI y SE, la producción es baja ya que depende del agostadero y este presenta una alta presión antropogénica causada por el pastoreo de los animales y al cambio de uso de suelo; esto coincide con Mahecha *et al.*, (2002), quienes indican que la ganadería es una actividad extensiva-extractiva. El estado de la vegetación en los tres sistemas es pobre por lo que presenta una cobertura vegetal baja, lo cual tiene un impacto en la pérdida de suelo, es importante considerar decisiones que ayuden a planificar el mejoramiento del agroecosistema, para mejorar la

productividad y eficiencia, como la señala Ruíz *et. al.*, (2008), así también Castelán *et al.*, (2014) indican que la dimensión ambiental es la más crítica en su estudio de sustentabilidad que evaluó en Puebla, lo cual coincide con este estudio.

Estabilidad, confiabilidad y resiliencia

En estos atributos, el SE presenta mejor calidad de suelo que el SI y SSI, esta tendencia es similar a lo publicado por López (2006) que indica que los agostaderos tienen un problema de erosión como consecuencia de su explotación inadecuada; pero menor calidad en el agua para riego debido a que el agua contiene altas concentraciones de sales y no es recomendable para riego porque causa sodificación al suelo. En el caso del SSI y SE, se puede usar pero con precaución; el SSI y SE presentan una presión antropogénica muy alta debido al sobre pastoreo y al cambio de uso de suelo. Además, en este Municipio se presenta un crecimiento medio anual de la población de 3.6 (INEGI, 2005) y es categorizado como alto. En el SI la presión antropogénica es alta ya, que se hace de manera extractiva y al crecimiento poblacional medio anual de 6.8 que se considera muy alto (INEGI, 2005).

La mayor diversidad productiva la tiene el SI; en cuanto a la comercialización, poder de decisión sobre aspectos críticos del sistema el SSI tiene mayor ventaja por lo que vende a diferentes clientes y escalas, por tener un mejor tipo de estructura organizativa (Empresarial) y a la experiencia en la actividad de 12 años. El precio de borrego en pie es estable ya que no tiene variaciones drásticas, esto permite que el precio se mantenga porque es una actividad viable debido al déficit superior al 40% ya que lo producido no satisface la demanda nacional.

Adaptabilidad

La adaptabilidad se midió con el nivel tecnológico de cada sistema de producción en cuestión de alimentación, nivel tecnológico en la alimentación, genética animal, sanidad y reproducción por lo que el SSI y SI mostraron un mayor índice de nivel tecnológico, la adaptabilidad también puede ser media con base en la calidad del suelo y agua; esto coincide con Gaspar *et al.*, (2009) que señalan que las explotaciones de mayor dimensión se muestran como las más adaptables.

Autodependencia

El SSI presentó mejores resultados en el indicador de poder de decisión sobre aspectos críticos del sistema, tipo y permanencia de las organizaciones, y registros de producción por ser una empresa (INPEMA S.P.R. de R.I) con mayor experiencia en la ovinocultura, sin embargo, presenta una mayor dependencia a insumos, esto, lo hace vulnerable a la cuestión de la variabilidad de precios de los insumos, esto coincide con Calvi y Rodríguez (2014), quienes indican que los elevados costos de producción de los sistemas ganaderos provocan un resultado económico bajo. En la cuestión de autonomía laboral el SE presenta un 100% por la mano de obra familiar que emplea el sistema.

El SI presenta mayor autonomía, ya que produce materia prima (ensilado, alfalfa, etc.) que se utiliza para la alimentación de los ovinos, sin embargo, es el que presenta mayor dependencia de recursos externos, esta actividad, es subsidiado por el programa PROGAN y recursos del mismo propietario para el pago de mano de obra.

Equidad

El SI y SSI fueron los que generaron mayor número de empleo, la mano de obra empleada fue asalariada, esto, lo hace dependiente, caso contrario al SE que genera un empleo permanente debido a que la mano de obra es familiar, el propio productor se autoemplea, resultando mayor equidad en este sistema, esto, coincide con Gaspar *et al.* (2009) quienes señalan que las explotaciones de menor tamaño, utilizan la mano de obra familiar y que en la valoración de la equidad las explotaciones pequeñas obtienen una puntuación mayor.

CONCLUSIONES

En la evaluación de la sustentabilidad de los tres sistemas ovinos en los Valles Centrales de Oaxaca, utilizándose 23 índices, los resultados muestran que el Sistema Semi Intensivo obtuvo valores superiores en 11 indicadores comparado con el SI (5 indicadores) y Sistema Extensivo (8 indicadores). En la dimensión económica el Sistema Semi Intensivo y Sistema Intensivo se encontraron potencialmente sustentable, mientras que el SE fue medianamente sustentable. En la dimensión ecológica y social el SSI fue potencialmente sustentable y medianamente sustentable el SE y SI. La presión antropogénica hacia los recursos naturales fue alta, por lo que se recomienda buscar nuevas alternativas para el uso racional de los recursos naturales.

LITERATURA CITADA

- Achkar, M., V. Canton, R. Cayssials, A. Domínguez, G. Fernández y F. Pesce. 2005. Ordenamiento Ambiental del Territorio. Comisión Sectorial de Educación Permanente. DIRAC, Facultad de Ciencias. Montevideo. 104 p.
- Arias, G. L. M. y J. Camargo C. 2007. Análisis de sustentabilidad en unidades productivas ganaderas del municipio de Circasia (Quindío-Colombia), cuenca del Río la Vieja. Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos. Colombia.
- Calvi, M. y M. Rodríguez. 2014. Sustentabilidad económica de sistemas ganaderos representativos y mejorados en la zona ganadera homogénea de la región mesopotámica Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 40 (3): 303-311.
- Casado, G. G. I. y A. M. Alonso M. 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Revista Ecología y medio ambiente, ecosistemas.* 16 (1): 24-36.
- Castelán, V. R., Tamariz F.V., Ruíz C. J. y Linares F. G. 2014. Evaluación de la sustentabilidad en la actividad agrícola de tres localidades campesinas en Pahuatlán, Puebla. *Revista Ecosistemas y Recursos agropecuarios* 1(5): 219-231.
- Castillo, R. D., T. Rodríguez, M. P. L. Brunett, P. L., M.O, Márquez, V. O. Terán y A. E., Espinosa. 2012. Evaluación de la sustentabilidad social, económica y productiva de dos agroecosistemas de producción de leche en pequeña escala en el municipio de Amecameca, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12(3):90-704.

- Contreras-Hinojosa, J. R., V. Volke-Haller; J. L. Oropeza-Mota, C. Rodríguez-Franco, T. Martínez-Saldaña y A. Martínez-Garza. 2003. Estado actual y causas de la degradación de los agostaderos en el Municipio de Yanhuatlán, Oaxaca. *Revista Terra Latinoamericana* 21:427-725.
- Corral, V. V y L. G. Domínguez R. 2011. The role of antecedent and consequent events in sustainable behavior. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta* 2(8-11): 8-29.
- Cotler, Á. H y A. Fregoso D. 2006. Sistemas de producción agropecuaria. Actividades productivas. pp. 69-71.
- Cruz, G. L. 2006. El problema de la sustentabilidad. Universidad Adventista del Plata Buenos Aires, Argentina. *Enfoques* 18(1-2): 145-158.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2003. Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000.
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesyformas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-021-RECNAT-2000.pdf> (Consultado 18 de junio de 2010).
- Flores, J. y D. Rochinotti. 2007. Agua para consumo de rumiantes. In http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/41-agua_consumo.pdf (consultado 21 de junio 2010).
- Gaspar, G. P., F.J. Mesías D., M. Escribano S. y F. Pulido G. 2009. Evaluación de la sostenibilidad en explotaciones de dehesa en función de su tamaño y orientación ganadera. *Revista ITEA, Información Técnica Económica Agraria* 105 (2):117-141.
- Gonzales-de Molina, M. 2011. Introducción a la Agroecología. Cuadernos técnicos SEAE- serie: Agroecología y Ecología Agraria. pp. 19-31.
- INEGI. 2005. Tasa media de crecimiento anual 2000 - 2005.
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/sis/sisept/default.aspx?t=mpob103&s=est&c=3850&e=20> (consultado 20 de agosto 2010).
- Jiménez, D. R. M. y J. Lamo-de Espinosa. 1998. Agricultura sostenible. Editorial Mundi-prensa. Madrid España. pp. 197-275.
- López, A. A. 1998. La ruta de la sostenibilidad. Estudios Gerenciales. *Revista Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas Universidad ICESI*. Octubre-diciembre, número 069. Cali, Colombia. pp. 37-42.
- López, L. C., B. R. Salcedo, J. M. Salas G., P. A. Martínez H., A. González A. y E. García P. 2008. Sistema Producto Pecuario Ovino. Diagnóstico Integral del Sector Primario para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Oaxaca. Chapingo México. 529 p.
- López, R., M. 2006. Elementos para el diseño de una política de uso sustentable de las tierras ganaderas de Sonora. *Revista Estudios Sociales* 14(27):140-157.
- Macías-Cuellar, H., O. Téllez-Valdés, P. Dávila-Aranda y A. Casas-Fernández. 2006. Los estudios de sustentabilidad. *Ciencias*, enero-marzo. No. 081. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal. México. 20 p.
- Mahecha, L., L. Gallego A. y F. Peláez J. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(2):213-225.
- Martínez, C. F. E., H. J. Herrera G., A. del C. García C. y P. Pérez J. 2003. Indicadores productivos y de sustentabilidad económica de granjas porcinas urbanas en el norte de México D. F. *Revista Archivos de Zootecnia* 52: 101-104.
- Masera, O., M. Astier y S. López-Ridaura. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco MESMIS. Mundiprensa, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A.C. y Universidad Nacional Autónoma de México, México. 109 p.

- Morales-Hernández, P., J. G. Estrada-Flores, F. Avilés-Nova, G. Yong-Angel, F. López-González, A. D. Solís-Méndez y O. A. Castelán-Ortega. 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad Y Ciencia Trópico Húmedo* 29(1), 19–31.
- Nasca, J., M. Toranzos y N. Banegas R. 2006. Evaluación de la sostenibilidad de dos modelos ganaderos de la llanura deprimida salina de Tucumán, Argentina. *Revista Zootecnia Tropical, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de Venezuela* 24(2):122-136.
- Nieva-Montalvo, G. 2007. Evaluación estacional de la salud de un agostadero para caprinos. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca. 136 p.
- Ramírez, T. A., J. M. Sánchez-Núñez y A. García-Camacho. 2004. El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis. *Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle* 6(21):55-59.
- Restrepo, M. J., D. Iván-Ángel y S. M. Martin-Prager. 2000. Agroecología. Universidad Nacional de Colombia y Fundación para la Investigación y el, Desarrollo Agrícola (FIDAR), Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. CEDAF. Santo Domingo, República Dominicana. 117 p.
- Rivas, J. M. A., C. López C., A. Hernández G. y J. Pérez P. 2005. Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista Técnica Pecuaria, México* 43: 79-92.
- Romo, B. C. E., G. Valdivia F., R. G. Carranza T., J. Cámara C., M. P. Zavala A., E. Flores A. y J. A. Espinosa G. 2014. Brechas de rentabilidad económica en pequeñas unidades de producción de leche en el altiplano central mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 5(3): 273-290.
- Ruíz, G. C., L. A. García H., C. H. Ávila B. y L. Brunett P. 2008. Sustentabilidad financiera: el caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. *Revista Mexicana de Agronegocios* 22: 503-515.
- Sarandón, S. J y C. Flores C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. Comisión de Investigaciones Científicas, Prov. de Bs Aires. La Plata. Buenos Aires. Argentina* 4: 19-28.
- Vilaboa, A. J., P. Díaz Rivera, D. E. Platas Rosado, E. Ortega Jiménez y M. A. Rodríguez Chessani. 2006. Productividad y autonomía en sistema de producción ovina: dos propiedades emergentes de los agroecosistemas. *Interciencia* 3: 37-44.
- Zinck, J. A., L. Berroterán J., A. Farshad, A. Moameni, S. Wokabi, E. Van Ranst. 2005. La sustentabilidad agrícola: un análisis Jerárquico. *Gaceta Ecológica* 076: 53-72.