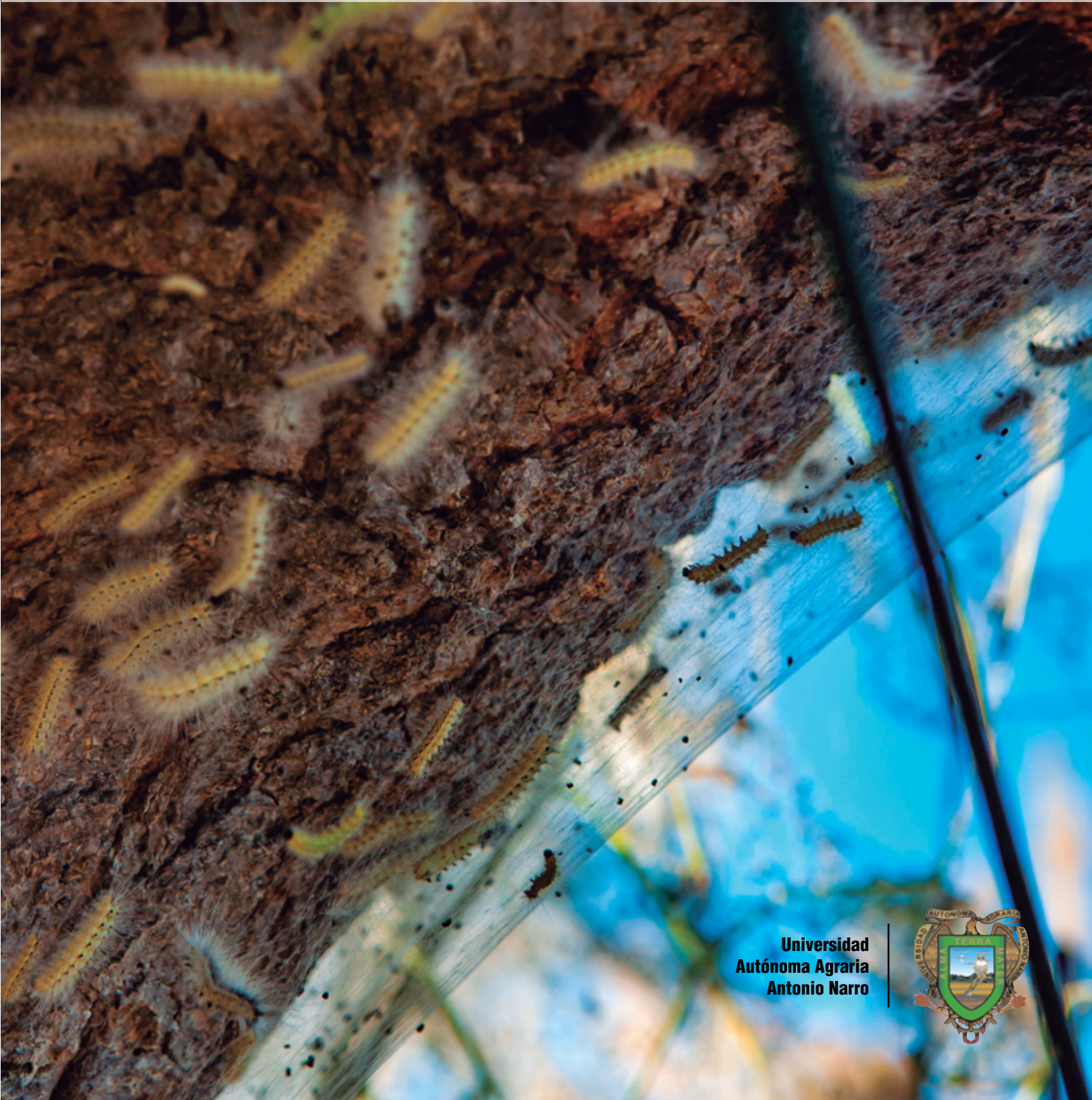




Agraria

Vol. 16, núm. 1, enero-abril, 2019 • ISSN 0186 8063



Universidad
Autónoma Agraria
Antonio Narro





Revista científica de la Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro, vol. 16, núm. 1, enero-abril, 2019.

Centéotl, deidad azteca de la agricultura, es una advocación de Chicomecóatl, diosa del maíz. La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en su afán de rescatar los valores del pasado histórico de México, la ha adoptado como logotipo de su revista científica, como símbolo que evoca y reafirma nuestras raíces culturales.

COMITÉ EDITORIAL

Editor en Jefe

Dr. Armando Robledo Olivo

Editor Ejecutivo

M.C. Víctor M. López González

Editores

Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente

Dr. Karim de Alba Romenus

Edición

Delirio. Servicios Editoriales



Diseño y formación

Leticia Hernández

Cuidado de la edición

Anastasia Rodríguez

Fotografía de portada: Shutterstock

Hyphantria cunea

Agraria está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México D. F.); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México.

<http://www.uaaan.mx/agraria/>

E-mail: agraria_ne@uaaan.mx

Tel. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax +52 (844) 411 02 11

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de la institución editora de la publicación.

Se autoriza la reproducción de artículos si se cita la fuente.

Agraria, vol. 16, núm. 1, enero-abril, 2019, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a través de la Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coah., México. <http://www.uaaan.mx/agraria/> E-mail: agraria_ne@uaaan.mx Tels. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax: +52 (844) 411 02 11. Editor responsable: Víctor Manuel López González. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título (en trámite); ISSN 0186-8063, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título: en trámite. Certificado de Licitud de Contenido: en trámite, que otorga la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa en Digital Color: Arteaga Norte núm. 225, zona centro, C.P. 25000, Saltillo, Coah. Tel. +52 (844) 481 58 42. Este volumen se terminó de imprimir en enero de 2019, y consta de 200 ejemplares.



CONTENIDO

PÁGINA

- 1** Aptitud combinatoria y heterosis en cruzas experimentales de sorgo para grano
Combining ability and heterosis in grain sorghum experimental crosses
Nury Deyanira Gutiérrez-Palacios, José Espinoza-Velázquez, Armando Rodríguez-García, Luis Ángel Muñoz-Romero, Alfonso López-Benítez
- 11** Respuesta fisiológica a la salinidad de maíz criollo y mejorado
Physiological response to salinity in maize landraces and hybrid
Carmen Alicia Ayala-Contreras, Norma Angélica Ruiz-Torres, Froylán Rincón-Sánchez, Celestino Flores-López
- 21** Efecto de tres sistemas de labranza con el uso de un mejorador en la retención de humedad del suelo en un cultivo de avena (*avena sativa* sp)
Effect of three tillage systems with the use of a breeder in the water retention of the soil under a crop of oats (*avena sativa* sp)
Bersain Vázquez-López, Martín Cadena-Zapata, Alejandro Zermeño-González, Santos Gabriel Campos-Magaña y Félix de Jesús Sánchez-Pérez
- 27** Efectividad de aislados nativos de *Beauveria* y *Metarhizium* de Arteaga, Coahuila, en el control del gusano telarañero *Hyphantria cunea* Drury
Effectiveness of native *Beauveria* and *Metarhizium* isolates from Arteaga, Coahuila in the control of the spider webworm *Hyphantria cunea* Drury
Alejandro de la Cruz-Armas, Luis Alberto Aguirre-Uribe, Víctor Manuel Sánchez-Valdés, Ernesto Cerna-Chávez, Oswaldo García-Martínez, Yolanda Isabel Hernández-Hernández
- 39** Una alimentación adecuada mejora la conducta sexual de los machos cabríos multirraciales jóvenes tratados con testosterona en el subtrópico mexicano
Good nutrition improves sexual behavior in mixed-breed young bucks treated with testosterone in subtropical Mexico
A.G. López-Jara, M.G. Machado-Ramos, J.J. Benítez-Rivas, O. Ángel-García, L.I. Vélez-Monroy, A.U. Chávez-Solís, M.A. de Santiago-Miramontes

Aptitud combinatoria y heterosis en cruzas experimentales de sorgo para grano

Combining ability and heterosis in grain sorghum experimental crosses

Nury Deyanira Gutiérrez-Palacios¹, José Espinoza-Velázquez^{1,2},
Armando Rodríguez-García³, Luis Ángel Muñoz-Romero³,
Alfonso López-Benítez³

¹Graduada del programa de maestría en ciencias en Fitomejoramiento. ²Profesor-investigador del Instituto Mexicano del Maíz Dr. Mario E. Castro Gil. Email: jespvel839@gmail.com, [*Autor responsable]. ³Profesores-investigadores del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México.

RESUMEN

México, en la actualidad, es uno de los principales productores de sorgo en el mundo, aunque durante 32 años, hasta 2012, fue uno de los mayores importadores. Para lograr este cambio, fue de suma utilidad contar con germoplasma, fundación que permitió la derivación de líneas complementarias y la generación de híbridos competitivos, lo cual contribuyó a reducir la importación del grano. En este trabajo se manejaron líneas de potencial en la generación de híbridos simples, para estimar: valores de aptitud combinatoria y heterosis en rendimiento de grano (RTO), además de otras características agronómicas. En 2013 se realizaron los cruzamientos utilizando el diseño II de Carolina del Norte (7 x 7 líneas). Durante P/V 2014 se establecieron ensayos de rendimiento en Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Saltillo, en los cuales se incluyeron híbridos y progenitores. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. El análisis genético permitió estimar ACG y ACE. Los progenitores machos M7 (0.54 t ha⁻¹) y M4 (0.52 t ha⁻¹), y las hembras H1 (0.29 t ha⁻¹) y H2 (0.25 t ha⁻¹) tuvieron los mayores efectos de ACG y los más altos RTO: número de granos por panoja (NGP) y peso de 1000 granos (PMG). El NGP contribuyó al alto RTO de machos y PMG contribuyó al RTO de las mejores hembras. Las cruzas que presentaron efectos positivos y altos de ACE para RTO y sus componentes, fueron: A92 x 124-2; A98 x Pan 37; A96 x 124-2; A626 x Pan 37 y A68 x 124-2, y también mostraron alta heterosis: 117.07, 147.79, 93.53, 97.93 y 117.54%, y fueron superiores en RTO. Estos resultados confirman que la presencia de genes con acción aditiva y de dominancia es aprovechable para generar buenas combinaciones híbridas y seleccionar las mejores, para posibles aplicaciones comerciales.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, líneas endogámicas, aptitud combinatoria, heterosis, componentes del rendimiento

ABSTRACT

Mexico is among the highest sorghum grain producers worldwide, and one of the biggest importers for 32-year period ending up in 2012. In those changing situations, it is worth to count on foundation germplasm from where we can develop complementary inbred lines and then produce competitive hybrids that help in reducing the grain imports. In this research, inbred lines and crosses were used to estimate combining abilities and heterosis percentages for yield (RTO) along with other agronomic variables. During 2013, the 7 x 7 lines crosses following the North Carolina II design were accomplished. The yield performance assays were developed during S-S / 2014 in locations Río Bravo, Tamaulipas, and Buenavista, Saltillo, Mexico, including parental lines, crosses and witnesses. The experimental design was a complete randomized block design with three replicates. The genetic analysis led to estimate the GCA and SCA. The male parental lines M7 (0.54 t ha⁻¹) and M4 (0.52 t ha⁻¹) and the females H1 (0.29 t ha⁻¹) and H2 (0.25 t ha⁻¹) had the higher GCA effects and the highest RTO, grain panicle number (NGP), and 1000 grain weight (PMG). The NGP favored high RTO in these male parents, and PMG did so in the female parents. The crosses that showed high and positive SCA effects for RTO and its components were (A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37 and A68 x 124-2) which also showed high heterosis (117.07, 147.79, 93.53, 97.93 and 117.54 %) and were superior in RTO. These results validated that knowledge about the additive action genes and dominant effects are reliable to produce good hybrids and select the best for possible commercial applications.

Key words: *Sorghum bicolor*, inbred lines, combining ability, heterosis, yield components

INTRODUCCIÓN

El sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] es el quinto cereal más importante del mundo, después del trigo, maíz, arroz y cebada, y es ampliamente cultivado en zonas tropicales semiáridas de África, Asia y América Latina (Reddy *et al.*, 2011). En el concierto mundial, México es uno de los grandes productores y consumidores de sorgo para grano. Con datos de los años 2005 al 2014, publicados por FIRA (2015) y adaptados por los autores de este artículo, el promedio de superficie sembrada en millones de hectáreas fue de 1.94 ± 0.08 , y la superficie cosechada de 1.75 ± 0.12 . El consumo promedio nacional, en millones de toneladas, fue de 8.36 ± 0.77 , mientras que la producción promedio para el mismo periodo fue de 6.67 ± 0.9 , lo que resulta claramente deficitario, por lo que requiere subsanarse por la vía de importaciones.

Por un buen tiempo, la diferencia consumo-producción fue subsanada con importaciones, las cuales alcanzaron un promedio en millones de toneladas de 2.08, en el periodo de 2005 a 2012. Para los años 2013 y 2014, se equilibró la producción con la demanda, y en estos años, e incluso para 2015, las importaciones observadas fueron menores a 165 mil toneladas (SIAP, 2013; FIRA, 2015). Esta situación de grandes cambios puede tomarse como un nicho de oportunidad para proponer alternativas varietales que contribuyan a apuntalar la producción nacional, y a reducir, aún más, la importación de este cereal.

El sorgo se ha convertido en un cultivo fuente de materia prima para la industria pecuaria de alimentos balanceados, lo cual permite, a su vez, que en el mercado alimentario se disponga de proteínas de origen animal para consumo humano (Hernández *et al.*, 2011).

Por otra parte, el mejoramiento genético es un proceso continuo en la formación de variedades e híbridos, y la determinación de los diversos tipos de acción génica es básica para la ejecución de planes de mejoramiento a fin de lograr avances rápidos en un programa destinado a la obtención de híbridos (Wong *et al.*, 2007).

La estimación de parámetros genéticos se pueden lograr con diseños de apareamientos genéticos, tales como los diseños dialélicos, y el diseño II de Carolina del Norte (Sprague y Tatum, 1942; Comstock *et al.*, 1949). En este último se utilizan dos conjuntos de líneas: el primero funciona como macho y el segundo como hembra. Este diseño ha sido utilizado

por un grupo numeroso de investigadores, entre ellos Wong *et al.* (2007); Tadesse *et al.* (2008); Makanda *et al.* (2010); Guerrero-Guerrero *et al.* (2011); Palemón *et al.* (2012) y Luna-Ortega *et al.* (2013).

El conocimiento de la aptitud combinatoria de progenitores y herencia de caracteres son importantes en programas de mejoramiento orientados al desarrollo de híbridos (Makanda *et al.*, 2010). Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), tal como fueron definidos por Sprague y Tatum (1942), son ampliamente utilizados para seleccionar progenitores e híbridos de sorgo (Zewdie *et al.*, 2000; Poehlman, 2005; Pech *et al.*, 2010).

La heterosis proporciona información importante para mejorar el rendimiento y otras características de importancia agronómica en sorgo. Este parámetro puede variar desde significativamente positiva hasta negativa, de acuerdo con la constitución genética de los padres, como lo ilustran Orozco y Mendoza (1983) que reportaron heterosis en rendimiento de grano en sorgo en el rango de -24 a 176%; Osuna *et al.* (2001) 26 a 173%; Cisneros-López *et al.* (2007) de 35%, y León-Velasco *et al.* (2009) en 47%.

La obtención de híbridos en sorgo requiere dos conjuntos de líneas: uno de hembras con androesterilidad y el otro de machos androfértiles, capaces de restaurar la producción de polen en la progenie resultante. Esto es de suma importancia, dada la especial estructura de los órganos reproductivos de la especie. El presente estudio se enfoca en la evaluación de aptitud combinatoria y heterosis en cruza experimentales de sorgo para grano, de probable utilización en siembras comerciales de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado se compuso de 49 cruza, generadas en el ciclo Primavera/Verano 2013, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, por medio de cruza entre siete hembras androestériles (A) y siete machos restauradores de la fertilidad (R) pertenecientes al programa de sorgo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN); también se incluyeron 14 progenitores, dos híbridos comerciales, generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), y un híbrido comercial de compañía internacional. Las cruza se generaron siguiendo el Diseño II de Carolina del Norte (Comstock *et al.*, 1949).

Los ensayos de rendimiento se realizaron en dos localidades, Campo Experimental Río Bravo, del INIFAP en Río Bravo, Tamaulipas (25° 59' N y 98° 06' O, 139 msnm, temperatura media anual de 23.5°C y 780 mm de precipitación anual, y clima muy cálido) (www.inegi.org.mx); en Buenavista, Saltillo, Coahuila (25° 22' N y 101° 02' O, 1742 msnm, temperatura media anual de 19.8°C y de 350 a 400 mm de precipitación anual, y clima semicálido) (<http://www.uaaan.mx>).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La parcela consistió de un surco con cinco metros de largo y una distancia entre surcos de 0.80 m. La siembra en Río Bravo se efectuó el 5 de marzo de 2014, y en Buenavista, el 25 de abril de 2014. Se raleó 20 días después de la emergencia a 12 plantas por metro lineal (250 mil plantas ha⁻¹). La fertilización a la siembra fue de 133 unidades de N y 90 unidades de P ha⁻¹; la segunda y última fertilización se aplicó 45 días después de la siembra con 60 unidades de N ha⁻¹. El manejo del cultivo fue de acuerdo con las recomendaciones de INIFAP-Río Bravo. La cosecha se efectuó diez días después de la madurez fisiológica. Cada parcela fue desgranada y pesada, y se le determinó la humedad de grano. Variables de respuesta: días a floración (DF), altura de planta (AP), peso de mil granos (PMG), número de granos por panoja (NGP) y rendimiento de grano (RTO) en t ha⁻¹. El análisis de varianza (ANVA) se realizó con el paquete estadístico SAS, 2001. La comparación de medias fue con Tukey (p < 0.05).

El análisis genético se realizó con el diseño de apareamiento Genético Carolina del Norte II (Comstock *et al.*, 1949) con efectos fijos, cuyo modelo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + H_j + \Phi_{ij} + E_{ijk}$$

Donde: i = 1, 2, ..., m (machos); j = 1, 2, ..., h (hembras); k = 1, 2, ..., r (repeticiones); Y_{ijk} = observación de la cruce entre el i-esimo macho, la j-esima hembra, en la k-esima repetición. μ = Media general; M_i y H_j = Efecto del i-esimo macho y j-esima hembra; Φ_{ij} = Efecto de la interacción del i-esimo macho y la j-esima hembra; E_{ijk} = Error experimental.

La estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para los machos y hembras, y la aptitud combinatoria específica (ACE) para las cruces, se realizó según la propuesta de (Sprague y Tatum, 1942), donde:

$$g_i = \bar{Y}_i - \bar{Y}.. \quad g_j = \bar{Y}_j - \bar{Y}.. \quad S_{ij} = Y_{ij} - g_i - g_j - \bar{Y}..$$

Para heterosis, se usó la fórmula: H = (MF₁ - MP

/ MP) x 100; donde: MF₁ = valor promedio del carácter evaluado en el híbrido; MP = valor del promedio de progenitores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis combinado de los atributos agronómicos de progenitores, permitió identificar a los tres superiores en cada grupo (M = machos, H = hembras): M7, M4 y M5; H2, H1 y H4 (Cuadro 1), cuyo volumen de producción de H es cercano al de M. El RTO en las mejores H fue más homogéneo que en M, lo que probablemente se deba a que las primeras tienen el mismo origen y, por lo tanto, menor variación, lo cual sugiere que las combinaciones de los M son las que influyen en el comportamiento de las cruces.

Respecto a los componentes del rendimiento, NGP contribuyó a incrementar el RTO, dato coincidente con el publicado por Peña-Ramos *et al.* (2004). Los machos rendidores M4 y M5, obtuvieron los mayores valores de NGP, pero ligeramente inferiores en PMG (Cuadro 1). El macho M7, presentó el mayor PMG y el mayor NGP, lo cual sugiere que ambos componentes contribuyeron simultáneamente al RTO en este progenitor, de acuerdo con lo reportado por Wong *et al.* (2007), y por Borrás y Otegui (2001) para maíz.

En el caso de progenitores H parece ser que el PMG contribuyó a incrementar el RTO, ya que H2, H1 y H4, que sobresalieron en RTO, también destacaron en mayor PMG, aunque no precisamente coincidieron con los valores más altos en NGP. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Wong *et al.* (2007) en cruces de maíz, donde la expresión del alto RTO fue aportada por el M con el mayor número de granos por mazorca (equivalente a NGP), y por la H con el mayor peso de mil granos (equivalente a PMG).

Para días a floración (DF), precisamente los machos que sobresalieron en RTO fueron más precoces, a excepción del M7 (2 a 3 días más tardío); algo similar sucedió en hembras rendidoras. Al respecto, debe considerarse que el promedio de DF se incrementó debido a las condiciones climáticas desfavorables en la localidad de Buenavista, que atrasaron el inicio de floración.

Respecto a la variable AP, el macho M7 presentó AP desfavorable para realizar cosecha mecanizada (221.2 cm). En el Cuadro 1 se observa que los progenitores M y H expresaron un comportamiento di-

ferencial en la mayoría de las variables, tal vez como resultado de la divergencia genética entre el material genético (Gómez *et al.*, 1988), además de las diferencias en ambientes de producción entre las localidades de estudio.

El rendimiento de grano promedio obtenido en las localidades (2.81 t ha⁻¹) (Cuadro 2) fue superior a los encontrados en otras evaluaciones de sorgo para grano según Makanda *et al.*, 2010 y Kumar *et al.*, 2011, e inferior para Geremew *et al.*, 2004 y De Almeida *et al.*, 2013.

En los análisis por localidad, la de Río Bravo tuvo un RTO de 3.61 t ha⁻¹, mientras que la de Buenavista fue de 1.97 t ha⁻¹ (Cuadro 2). El bajo RTO de la segunda localidad se atribuye a las condiciones desfavorables de temperaturas que afectaron relativamente el desempeño de los genotipos. Las cinco cruza más rendidoras en el combinado (A92 x 124-

2; A98 x Pan 37; A98 x 124-2; A92 x Pan 37 y A96 x 124-2) tuvieron buen desempeño en ambas localidades, lo que indica consistencia de las cruza, excepto de la segunda.

Haciendo énfasis en el análisis combinado, diez cruza superaron al mejor testigo (83 G19 de la compañía Pioneer Hi-Breed) en un rango de 26 a 3%. El mayor potencial de RTO lo obtuvo A92 x 124-2, sin diferencias estadísticas con A98 x Pan 37 y A98 x 124-2 (Cuadro 2). Las tres cruza en mención superaron en 26, 19 y 14% al testigo de Pioneer. De estos resultados se infiere que es posible seleccionar cruza que por sus características agronómicas deseables, puedan ser utilizadas en siembras comerciales.

Respecto a NGP (M), PMG (M y H), DF (H) y AP (M), se observaron efectos significativos de ACG (Cuadro 3), lo que sugiere la importancia de genes con acción aditiva en estas características para

Cuadro 1. Rendimiento y características agronómicas de líneas machos y hembras en promedio de cruza. Diseño II de Carolina del Norte. Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Código	Línea	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)
M1	14-3	3.12 ab	1939.9 bc	23.1 cd	86.69 a	123.81 ab
M2	12 A	2.63 bc	1335.6 d	24.5 bc	87.36 ab	130.40 b
M3	106-2	2.49 c	1761.2 c	21.9 d	90.12 c	130.35 b
M4	124-2	3.53 a	2160.4 ab	26.2 b	86.33 a	148.44 c
M5	IA 28	3.16 ab	2129.3 b	22.5 d	87.07 a	122.49 a
M6	21-1	2.54 c	1641.1 cd	23.3 cd	89.02 bc	119.22 a
M7	Pan 37	3.60 a	2447.6 a	30.1 a	89.36 c	221.19 d
H1	B 92	3.26 a	1791.5 b	28.1 a	87.78 abc	138.51 a
H2	B 98	3.30 a	1944.4 ab	25.8 bc	86.07 a	146.46 cd
H3	B 96	2.99 ab	1827.4 b	24.1 cd	86.86 ab	141.90 abc
H4	B 16	3.06 ab	1708.8 b	26.1 b	86.21 a	139.19 ab
H5	B 68	2.94 ab	2187.4 a	22.6 d	88.98 c	147.32 d
H6	B 626	2.88 ab	1771.3 b	22.3 d	88.50 bc	140.76 abc
H7	B 625	2.63 b	2184.3 a	22.5 d	91.55 c	141.79 abc
DMS 0.05		0.54	0.54	1.78	1.78	7.5

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes [Tukey, 0.05]; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50% de floración; AP = Altura de planta en cm.

Cuadro 2. Promedio de rendimiento (t ha⁻¹) de cruzas sobresalientes por localidad y a través de localidades. Diseño II de Carolina del Norte. Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Híbridos	Combinado		Híbridos	Tamaulipas	Híbridos	Buenavista
A92 x 124-2	4.45 a	(26 %)	A92 x 124-2	5.80	A625 x Pan 37	4.23
A98 x Pan 37	4.20 ab	(19 %)	A98 x IA28	5.58	A98 x Pan 37	4.01
A98 x 124-2	4.03 abc	(14 %)	A98 x 14-3	5.31	A68 x Pan 37	3.81
A16 x Pan 37	4.0 abcd	(13 %)	83 G19-Pionner	5.31	A626 x Pan 37	3.72
A92 x Pan 37	3.94 abcd	(12 %)	A96 x 124-2	5.14	A16 x Pan 37	3.72
A96 x 124-2	3.89 abcde	(10 %)	A16 x IA28	4.85	A92 x Pan 37	3.42
A626 x Pan 37	3.84 abcdef	(9 %)	A626 x 12 A	4.84	A98 x 124-2	3.39
A68 x 124-2	3.72 abcdefg	(5 %)	A92 x 12 A	4.77	A68 x 124-2	3.19
A98 x 14-3	3.70 abcdefg	(5 %)	A96 x Pan 37	4.73	A92 x 124-2	3.10
A98 x IA 28	3.65 abcdefg	(3 %)	A98 x 124-2	4.68	A96 x 124-2	2.64
83 G19 Pionner (T3)	3.53 abcdefgh		A16 x 14-3	4.63	A16 x 124-2	2.56
A16 x IA 28	3.39 abcdefghi		A68 x IA28	4.54	A626 x 124-2	2.48
A92 x 12 A	3.39 abcdefghi		A92 x Pan 37	4.46	A96 x IA28	2.38
Media	2.81			3.61		1.97
C.V (%)	28.6			27.9		25.9

que sean mejoradas por selección. En este sentido, existen reportes previos con resultados consistentes (Kenga *et al.*, 2004; Tadesse *et al.*, 2008; Makanda *et al.*, 2010).

Para RTO no se observó ACG significativa, pero sí positiva para la mayoría de los M y para algunas de las H, lo que indica la poca importancia de genes con efecto aditivo, y sugiere que una respuesta heterótica por hibridación puede ser importante (Peña-Ramos *et al.*, 2004).

Comparaciones individuales de ACG para RTO y NGP indicaron que los M (M7, M4 y M5) presentaron los valores más altos y positivos (Cuadro 3), lo que muestra, de forma general, que la ACG en NGP influye en el alto efecto de ACG del RTO en M. En H sobresalieron H2 y H1, donde la ACG de PMG contribuyó al alto efecto de ACG de RTO.

Los resultados reflejan el verdadero valor genotípico de las líneas mencionadas al ser estimados como efectos medios de una línea en una serie de cruzas; por tanto, entre más alta sea la ACG de una línea, mayor será el desempeño promedio de sus hí-

bridos, como lo menciona Belum *et al.* (2007). Esta observación indica la tendencia de progenitores a desarrollar híbridos superiores, tal es el caso de H1, H2 y H4, que aparecieron 3, 4 y 2 veces en las cruzas, respectivamente. En el mismo sentido, los machos M4, M7 y M5, dieron excelentes combinaciones híbridas, apareciendo 4 y 3 veces, respectivamente, entre los mejores híbridos. Es importante considerar para la formación de híbridos a aquellos progenitores que muestren ACG positiva y significativa, como propone Makanda *et al.* (2010), ya que se obtiene ganancia genética con presencia suficiente de genes con acción aditiva.

En el Cuadro 4 se muestran las mejores doce cruzas con efectos de ACE altos y positivos para RTO, de entre las que destaca la A92 x 124-2, con el RTO más alto (4.45 t ha⁻¹); en esta craza ambos progenitores tienen valores positivos de ACG, condición que por sí misma asegura un alto RTO (Wong *et al.*, 2007; Guerrero-Guerrero *et al.*, 2011). También sobresalieron en ACE las cruzas A98 x Pan 37 y A16 x Pan 37, que ocuparon el segundo y cuarto

Cuadro 3. Valores estimados de ACG de líneas de sorgo machos y hembras. Diseño II de Carolina del Norte. Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Código	Línea	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)
M1	14-3	0.11	23.5	-1.43	-1.30	-18.46*
M2	12 A	-0.38	-580.8*	-0.03	-0.63	-11.87
M3	106-2	-0.52	-155.2	-2.64	2.13	-11.92
M4	124-2	0.52	244	1.71	-1.66	6.17
M5	IA 28	0.15	212.9	-2.02	-0.92	-19.78*
M6	21-1	-0.47	-275.3	-1.17	1.03	-23.05*
M7	Pan 37	0.59	531.2	5.58*	1.37	78.92*
H1	B 92	0.25	-124.9	3.58*	-0.21	-3.76
H2	B 98	0.29	28.0	1.25	-1.92	4.19
H3	B 96	-0.02	-89.0	-0.39	-1.13	-0.37
H4	B 16	0.05	-207.6	1.63	-1.78	-3.08
H5	B 68	-0.07	271.0	-1.87	0.99	5.05
H6	B 626	-0.13	-145.1	-2.17	0.51	-1.51
H7	B 625	-0.38	267.9	-2.02	3.56*	-0.48
Error estándar		0.48	277.5	1.58	1.58	6.68

*Más grande que 2 x error estándar; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50% de floración; AP = Altura de planta en cm.

lugar en RTO. Los padres de estas cruzas también poseen efecto positivo de ACG, lo que sugiere que son combinaciones deseables.

Se presentaron casos donde uno de los progenitores mostró ACG negativa, sin embargo, sus cruzas reflejaron ACE positiva y alto RTO (Cuadros 4 y 2). Cuando en cruzas específicas participan progenitores donde al menos uno es ACG positiva, se pueden generar combinaciones exitosas, según lo reportan Wong *et al.* (2007) y Guerrero-Guerrero *et al.* (2011), o casos en los que los progenitores discrepan en la magnitud, pero no de signo del efecto de ACG, y combinan de tal manera que generan híbridos con alta ACE, similar a lo reportado por Pech *et al.* (2010) en materiales del género *Capsicum*. En coincidencia con Guerrero *et al.* (2012), las líneas que aparecieron con más frecuencia en los híbridos sobresalientes y en sus respectivas cruzas específicas, obtuvieron los valores más altos de ACG.

Las cruzas con alta y positiva ACE en RTO, destacaron en ACE en NPG, e incluso algunas cruzas con efecto significativo. En cambio, PMG tuvo efectos positivos y significativos de ACE en sólo algunos casos. Se observaron efectos importantes de ACE en DF y AP en algunas cruzas (Cuadro 4). El mejoramiento genético por hibridación tendrá éxito si al menos una o ambas líneas de un híbrido son de alta ACG, como se documenta en los resultados del presente trabajo.

Se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) para localidades en todas las variables (Cuadro 5), a excepción de NGP, lo que indica contrastes entre localidades en cuanto a condiciones ambientales. La varianza del $M (M_{ACG})$ y de $H (H_{ACG})$ presentaron diferencias estadísticas para todas las variables ($p \leq 0.01$), lo cual indica que los efectos aditivos tuvieron gran impacto sobre todas ellas, resultados acordes a los de Tadesse *et al.* (2008). La interacción $M \times H$

Cuadro 4. ACE de las mejores 12 cruzas de sorgo para rendimiento de grano. Diseño II de Carolina del Norte. Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Cruzas H x M	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)
A92 x 12 A	0.51*	130.7	0.91	-0.15	4.98*
A92 x 124-2	0.67*	56.9	-0.09	0.21	5.95*
A98 x Pan 37	0.31	-83.2	-0.20	0.73	3.95
A96 x 124-2	0.38	-187.5*	-0.59	-1.20	-1.19
A96 x 21-1	0.50*	89.0	-1.61*	1.61	4.18
A16 x Pan 37	0.34	201.9*	1.12*	-0.41	-12.28*
A68 x 106-2	0.39*	135.2	0.12*	-2.28	-7.19*
A68 x 124-2	0.26	213.0*	0.42	0.18	6.63*
A626 x 12 A	0.51*	-123.7	0.95	0.13	2.96
A626 x Pan 37	0.36	209.6*	0.72	0.30	-3.47
A625 x 12 A	0.42*	434.6*	-0.30	1.08	-0.24
A625 x 21-1	0.69*	-109.2	-0.26	-2.91*	7.19*
Error estándar	0.19	78.6	0.50	1.42	2.38

*Más grande que 2 x error estándar; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50% de floración; AP = Altura de planta en cm.

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado y nivel de significancia estadística, según análisis con el Diseño II de Carolina del Norte. Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

FV	gl	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)
LOC	1	230.8**	20835.5 ns	635.4**	22816.7**	41833.5**
REP (LOC)	4	0.8 ns	81500.9 ns	29.9**	9.8 ns	430.6**
M (ACG)	6	54.7**	5773714.3**	339.5**	92.0**	54691.5**
H (ACG)	6	13.4**	1636168.2**	206.2**	154.3**	485.6**
M x H (ACE)	36	35.2 ns	276766.4 ns	16.0**	12.4**	416.3**
M x Loc	6	43.3**	4326642.9**	111.8**	120.1**	106.6 ns
H x Loc	6	18.3**	225780.2 ns	53.1**	12.1 ns	67.5 ns
M x H x Loc	36	39.3*	593659.3**	11.4*	13.6**	166.3 ns
Error	192	133.3	231109.6	7.5	7.5	133.8
Total	293					
Media		3.01	1916.0	24.5	87.99	142.27
C.V (%)		27.7	25.1	11.2	3.11	8.13

*, ** Significativo al 5 y 1 % (P≤0.05 y P≤0.01), respectivamente. gl = Grados de libertad; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹.

NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50% de floración; AP = Altura de planta en cm.

(ACE) impactó significativamente a las variables ($p < 0.01$) –con excepción de RTO y NGP– que son determinantes en la valoración económica de nuevos híbridos. En este caso, debe tomarse en cuenta el gran contraste de las localidades –como ambiente de producción para sorgo– lo que probablemente enmascaró dicho efecto. De cualquier manera, para la mayoría de las variables, los efectos de aptitud combinatoria encontrados sugieren la posibilidad de seleccionar progenitores superiores para aprovecharlos como patrón heterótico, porque probablemente combinen bien con otros genotipos y generen progenies competitivas, como indica Hallauer (1990). Dada las diferencias entre los progenitores; también sugieren la oportunidad de obtener cruza que se adapten y expresen su máximo potencial de rendimiento en ambientes contrastantes.

La interacción M x Loc con diferencias altamente significativas para todas las variables ($p \leq 0.01$), indica que los M respondieron de manera diferente ante los cambios de ambiente, a excepción de AP. En

el caso de la interacción H x Loc, solamente reveló significancia estadística ($p \leq 0.01$) para RTO y PMG. La alta variabilidad de los progenitores M para las diferentes características puede deberse a que ellos fueron desarrollados a partir de una base genética relativamente amplia (Tadesse *et al.*, 2008).

Respecto a la interacción M x H x Loc, con diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) para todas las variables medidas, a excepción de AP (Cuadro 5), en general los resultados demostraron diferencias en cuanto a efectos genéticos aditivos para los casos donde H y M reflejaron diferencias significativas, lo que coincide con Tadesse *et al.* (2008), y efectos de dominancia importantes para los casos donde la interacción M x H fue significativa. Estos resultados coinciden con reportes previos de Luna-Ortega *et al.* (2013).

Las 11 cruza que superaron 80% de heterosis para RTO, se presentan en el Cuadro 6. De éstas, sólo A68 x Pan 37 y A625 x Pan 37, con heterosis de 91.1 y 80%, no se ubicaron dentro de las 10 cruza supe-

Cuadro 6. Heterosis de 11 híbridos sobresalientes de sorgo con respecto a la media de ambos progenitores. Diseño II de Carolina del Norte. Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Cruzas H x M	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)
A92 x 124-2	117.07*	43.68*	33.27*	0.78	27.72*
A92 x Pan 37	105.74*	87.01*	27.04*	-0.28	56.86*
A98 x 14-3	80.05*	95.23*	-2.31	-1.18*	24.43*
A98 x 124-2	120.22*	92.08*	21.87*	2.23*	31.56*
A98 x IA 28	90.60*	79.01*	-0.21	-1.58*	24.68*
A98 x Pan 37	147.79*	157.19*	16.88*	3.12*	62.28*
A96 x 124-2	93.53*	56.32*	7.67*	1.72*	18.85*
A68 x 124-2	117.54*	83.59*	19.13*	-0.09	32.23*
A68 x Pan 37	91.11*	116.61*	16.83*	0.46	68.60*
A626 x Pan 37	97.93*	151.10*	34.19*	2.95*	59.41*
A625 x Pan 37	80*	109.25*	18.19*	3.93*	80.12*
Error estándar	5.30	5.79	1.90	0.53	2.80

*Más grande que 2 x error estándar; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm.

riores en RTO (Cuadros 2 y 6). El resto de cruzas, además de alta heterosis, también mostraron ser las más rendidoras. De las cruzas más calificadas: A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37 y A68 x 124-2, destacaron también por presentar ACE positiva (Cuadro 4). Los valores de mayor amplitud de heterosis encontrados se atribuyen a mayor diversidad de las líneas que participaron en las cruzas, datos similares a reportados por Cisneros-López *et al.* (2007) y León-Velasco *et al.* (2009).

La heterosis de NGP contribuyó más a la heterosis del RTO, ya que la heterosis de PMG fue de menor magnitud (Cuadro 6), lo que coincide con Peña-Ramos *et al.* (2004). Los resultados señalan niveles de heterosis relativamente superiores en NGP, pero similares en cuanto a PMG a los reportados por León-Velasco *et al.* (2009). DF y AP registraron niveles de heterosis importantes para obtener genotipos precoces y altura adecuada (Cuadro 6).

CONCLUSIONES

Los efectos de ACG significativos para rendimiento y características agronómicas permitió identificar a los progenitores superiores: M7, M4 y M5, y H1, H2 y H4, los cuales tendieron a desarrollar híbridos superiores. Las cruzas de efectos positivos de ACE, alta heterosis y potencial de rendimiento fueron: A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37 y A68 x 124-2.

Se identificaron diez cruzas de alto rendimiento de grano, de entre las que se destacan las cruzas A92 x 124-2 y A98 x Pan 37, que superaron en 26 y 19% al mejor testigo comercial. El análisis genético general combinado permitió encontrar progenitores superiores que generaron buenas combinaciones híbridas, así como identificar cruzas específicas rendidoras con características agronómicas deseables en ambientes contrastantes.

AGRADECIMIENTOS

Al IICA-Conacyt (México) por la beca para estudios de Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento. A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto, y al Programa de Mejoramiento de Sorgo de la UAAAN, por proporcionar el material genético estudiado.

LITERATURA CITADA

- Belum V, S Reddy, S Ramesh, P Sanjana Reddy, B Ramaiah (2007) Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Euphytica*. 154: 153-164.
- Borrás L., M. E. Otegui (2001). Maize kernel weight response to post flowering source-sink ratio. *Crop Science*. 49: 1816-1822.
- Cisneros-López M. E., L. E. Mendoza-Onofre, G. Mora-Aguilera, L. Córdova-Téllez, M. Livera-Muñoz (2007) Cold tolerant sorghum hybrids and parental lines. I: Seed quality and its effects on seedling establishment. *Agrociencia* 41: 45-55.
- Comstock R. E., H. F. Robinson, P. H. Harvey (1949). A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Journal American Society of Agronomy*. 41: 360-367.
- De Almeida F. J., F. D. Tardin, M. D. Vilela, F. F. e Silva, I. S. Correia, C. B. de Menezes (2013). Genetic evaluation of grain sorghum hybrids in Brazilian environments using the REML/BLUP procedure. *Scientia Agricola* V. 71(2): 46-150.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, Banco de México. FIRA. (2016). Panorama Agroalimentario, Sorgo 2016. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Morelia, Mich., México. Publicación especial, 34 pp.
- Geremew G., A. Asfaw, T. Taye, T. Tesfaye, B. Ketema, H. Hilemichael (2004). Development of sorghum varieties and hybrids for dryland areas of Ethiopia. *Uganda Journal of Agricultural Science* 9: 594-605.
- Gómez M. N., R. Valdivia, H. Mejía (1988). Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 11(2) 103-120.
- Guerrero G. C., A. Espinoza, A. Palomo, E. Gutiérrez, J. G. Luna, N. Rodríguez (2012). Comportamiento genético y aptitud combinatoria en cruzas simples con líneas élite de maíz. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo*. 28(1): 65-77.
- Guerrero-Guerrero C., A. Espinoza-Banda, A. Palomogil, E. Gutiérrez-del Río, H. Zermeño-González, M. P. González-Castillo (2011). Aptitud combinatoria del rendimiento y sus componentes en dos grupos de líneas de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 22(2): 257-267.
- Hallauer A. R. (1990). Methods used in developing maize inbreds. *Maydica* 35(1): 1-16.
- Hernández L. A., T. M. Gallegos, J. E. Reyes, A. L. Meza (2011). Perla-101: nueva variedad de sorgo para grano

- en el estado de Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.2 Núm. (5): 779-784.
- Kenga R., S. O. Alabi, S. C. Gupta (2004). Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Field Crops Research* 88:251-260.
- Kumar A., A. Belum V. S. Reddy, B. Ramaiah, R. Sharma (2011). Heterosis in white-grained grain mold resistant sorghum hybrids. *Journal of SAT Agricultural Research* 9. 6 p.
- León-Velasco H., L. E. Mendoza, F. Castillo, T. Cervantes, A. Martínez (2009). Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: aptitud combinatoria, heterosis y heterobeltiosis. *Agrociencia* 43 (6): 609-623.
- Luna-Ortega J. G., J. L. García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, M. A. Gallegos-Robles, P. Preciado-Rangel, C. Guerrero-Guerrero, A. Espinoza-Banda (2013). Aptitud combinatoria y componentes genéticos en líneas de maíz. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 9(3): 243-253.
- Makanda I., P. Tongoona, J. Derera, J. Sibiyi, P. Fato (2010). Combining ability and cultivar superiority of sorghum germplasm for grain yield across tropical low- and mid-altitude environments. *Field Crops Research* 116 (2010) 75-85.
- Orozco M. F. J., L. E. Mendoza (1983). Comparación de híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] y algunos de sus progenitores. *Agrociencia* 53: 87-98.
- Osuna O. J., L. E. Mendoza, F. Castillo, V. A. González, M. C. Mendoza, H. W. Alanís, M. Hernández (2001). Potential of cold tolerant germplasm in the adaptation and adaptability of grain sorghum in México: II. Río Bravo, Tamaulipas and Celaya, Guanajuato. *Agrociencia* 35: 625-636.
- Palemón A. F., N. O. Gómez, F. Castillo, P. Ramírez, J. D. Molina, S. Miranda (2012) Potencial productivo de cruzas intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (1): 157-171.
- Pech May A., G. C. Nájera, J. M. Tun, M. M. Elos, J. O. Mijangos, A. P. Gutiérrez, L. L. Moreno (2010). Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 33 (4): 353-360.
- Peña-Ramos A., S. D. Kachman, J. D. Eastin, D. J. Andrews (2004). Herencia del rendimiento, número y tamaño del grano en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27: 149-156.
- Poehlman J. M. (2005). Mejoramiento genético de las cosechas. 2 ed. Editorial Limusa. D.F., México. 511 p.
- Reddy B. V. S., A. A. Kumar, S. Ramesh, S. P. Reddy (2011). Breeding sorghum for coping with climate change. Pages 326-329 in *Crop adaptation to climate change* (Yadav SS, Redden B, Hatfield JL and Herman Lotze-Campen, eds.). Iowa, USA: John Wiley & Sons Inc.
- SAS (Statistical Analysis System (2001). Version 8.2. By SAS Institute Inc, Cary, NC, USA. Copyright 2001.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2013) Estadísticas de producción agrícola en México. Sorgo de grano. www.siap.mx.
- Sprague G. F. and L. A. Tatum (1942). General vs specific combining ability in single crosses of corn. *Journal American Society of Agronomy*. 34: 923-932.
- Tadesse T., T. Tesso, G. Ejeta (2008) Combining ability of introduced sorghum parental lines for major morpho-agronomic traits. *Journal of SAT Agricultural Research* 6. 7 p.
- Wong R. R., E Gutiérrez del Río, A. G. Palomo, S. H. Rodríguez, H. O. Córdoba, A. B. Espinoza, J. J. Lozano (2007). Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 30 (2): 181-189.
- Zewdie Y., P. W. Bosland, R. Steiner (2000). Combining ability and heterosis for capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. *Hort Science* 36:1315-1317.
- www.inegi.org.mx
<http://www.uaaan.mx>

Respuesta fisiológica a la salinidad de maíz criollo y mejorado

Physiological response to salinity in maize landraces and hybrid

Carmen Alicia Ayala-Contreras¹, Norma Angélica Ruiz-Torres^{2*},
Froylán Rincón-Sánchez³, Celestino Flores-López⁴

¹Estudiante de Maestría en Tecnología de Granos y Semillas, ^{2*}Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTs), e-mail: n_ruiz@hotmail.com (*Autor responsable). ³Departamento de Fitomejoramiento y ⁴Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México. Tel. (844) 4110220.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar la respuesta fotosintética, germinativa y de vigor de dos genotipos sometidos a diferentes niveles de salinidad, bajo condiciones de laboratorio e invernadero. Se utilizó un híbrido comercial (Dupont Pioneer) y una población de maíz de la raza: Elotes Cónicos del sureste de Coahuila. En los tratamientos se utilizó Sulfato de Sodio (Na_2SO_4), que se expresaron en megapascales (MPa). Se llevaron a cabo dos estudios: el estudio I sobre el efecto de la salinidad en la asimilación de CO_2 en diferentes etapas fenológicas (muestreos) con cuatro tratamientos -1, -2, -3 MPa y un testigo, que se aplicaron por medio de las soluciones de riego; en ellos se evaluó la tasa de asimilación de CO_2 , la conductancia estomática, concentración de CO_2 intercelular y la tasa de transpiración; el estudio II para analizar los efectos de la salinidad en la germinación y vigor de la semilla, para lo cual se evaluaron siete tratamientos: testigo, -0.25, -0.50, -0.75, -1.0, -1.25 y -1.50 MPa, que se aplicaron por medio de riegos en ensayos de laboratorio. Las variables que se evaluaron fueron: germinación, vigor, longitud y peso seco de plúmula y de radícula, en plántulas normales. En el estudio I se obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos y entre muestreos para todas las variables. En el estudio II, para la tasa de asimilación de CO_2 y el CO_2 intercelular entre genotipos, se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) entre tratamientos para todas las variables evaluadas: entre genotipos para vigor ($P \leq 0.05$) y peso seco y longitud de radícula ($P \leq 0.01$), de los cuales el híbrido fue el que presentó un mejor comportamiento. Respecto a la interacción tratamiento x genotipo, hubo diferencias significativas en vigor y en peso seco de plántula ($P \leq 0.05$), así como en peso seco y longitud de radícula ($P \leq 0.01$). Los resultados indican que la fotosíntesis y la capacidad germinativa se reducen según disminuyen los potenciales osmóticos.

Palabras clave: maíz, potencial osmótico, efectos fisiológicos

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate photosynthetic, germination and vigor of two genotypes, subjected to different levels of salinity, under laboratory and greenhouse conditions. A commercial hybrid (Pioneer Dupont) and a maize landrace from Southeast of Coahuila, were used. Treatments were expressed in megapascals (MPa) using sodium sulfate (Na_2SO_4). Two studies were conducted. I: Effect of salinity on CO_2 uptake at different growth stages (samples), with four treatments -1, -2, -3 MPa and a control applied by the irrigation solutions. The evaluated variables were CO_2 assimilation rate, stomatal conductance, intercellular CO_2 concentration and transpiration rate; II: Effects of salinity on germination and seed vigor with seven treatments tested (control, -0.25, -0.50, -0.75, -1.0, -1.25 and -1.50 MPa) and applied through irrigation on laboratory tests to evaluate germination, vigor, length and dry weight of plumule and radicle of the normal seedlings. In the first study, significant differences ($P \leq 0.01$) between treatments and between sampling for all variables were obtained. In Study II, differences ($P \leq 0.01$) among genotypes for CO_2 assimilation rate and intercellular CO_2 were found for all variables; between genotypes ($P \leq 0.05$) and dry weight and length of radicle ($P \leq 0.01$), the hybrid had the highest performance. Regarding the interaction genotype x treatment, there were significant differences in vigor and seedling dry weight ($P \leq 0.05$) and dry weight and length of radicle ($P \leq 0.01$). The results indicated that photosynthesis and germination capacity was reduced by decreasing the osmotic potential.

Key words: maize, osmotic potential, physiological effects

INTRODUCCIÓN

La salinidad es uno de los principales factores abióticos que afectan el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos agrícolas debido al estrés que ocasiona en diferentes estados de crecimiento. Se ha demostrado que, bajo condiciones de solución salina, el crecimiento de las plantas se reduce; sin embargo, el grado de reducción depende del nivel de sal, las condiciones ambientales, el tipo de plantas y la etapa de crecimiento. El efecto por la salinidad difiere entre las especies e, incluso, entre las variedades y cultivares debido a la variabilidad de la tolerancia de los germoplasmas (Torabi y Halim, 2013).

Para el establecimiento de cualquier cultivo, es importante considerar las condiciones salinas del suelo, ya que pueden causar una reducción significativa en la tasa y el porcentaje de germinación de las semillas, que a su vez podría afectar su rendimiento (Carpici *et al.*, 2009). El proceso de germinación comprende varias fases: imbibición de agua, activación y síntesis de enzimas, translocación de sustancias y crecimiento activo, las cuales pueden ser afectadas por las condiciones salinas del medio (Cortés *et al.*, 2014).

Según Martínez *et al.* (2011), la salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos al afectar negativamente la germinación y la capacidad de emergencia de las plantas debido a sus efectos en los procesos fisiológicos. Trabajos realizados por González (2009) indican que los impactos de la salinización son: baja germinación, acumulación de iones en las células que crean toxicidad, problemas en la absorción de nutrientes y efecto osmótico.

La salinidad del suelo puede afectar la germinación de las semillas en dos formas: creando un potencial osmótico que evita la absorción de agua, y suministrando las condiciones para la entrada de iones, los cuales pueden ser tóxicos para el embrión o para la plántula en desarrollo (Méndez y Merazo, 1997). Niveles moderados de sales en el suelo no afectan la germinación aunque generalmente la retardan, pero concentraciones elevadas no sólo la retrasan, sino que afectan notablemente el porcentaje de emergencia, dependiendo del cultivo (Chávez *et al.*, 2012).

Franca (2007) indica que la evaluación de la germinación de las semillas en tratamientos salinos puede usarse como un indicador de la tolerancia de algunas especies y cultivares a la salinidad, además

de ser útil para evaluar la calidad fisiológica durante el estrés salino. Estas evaluaciones son importantes para estimar el potencial de rendimiento de las semillas en el campo. Nicasio (2011) menciona que mientras las semillas de las halófitas están adaptadas a un ambiente salino, aquellas de plantas no halófitas tienen límites variables de tolerancia a la salinidad respecto a la germinación.

La toxicidad iónica de las sales no sólo afecta la germinación, sino también es precursora de efectos negativos en los procesos fotosintéticos, ya que éstos se inhiben cuando altas concentraciones de sodio y de cloro se acumulan en los cloroplastos; asimismo reduce la conductancia estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, síntesis de proteínas, síntesis de ácidos nucleicos, actividad enzimática y ocasiona desbalance hormonal, lo que trae como resultado menos células en los meristemas y efecto severo en las variables de crecimiento; además puede afectar el proceso de transporte de agua e iones, lo que promueve toxicidad iónica y desbalance nutricional. Debido a la disminución de la eficiencia fotosintética ya sea por disminución de la asimilación de fotosintetizados, el gasto adicional de energía, el descenso de la conductancia estomática, o por altos niveles de iones sodio y cloro en el tejido foliar, la salinidad también reduce la tasa de crecimiento y producción. Por lo tanto, el efecto osmótico y tóxico no sólo causa una simple consecuencia física sobre la reducción de la presión de turgor de las células de la planta, sino que involucra alteraciones bioquímicas y fisiológicas (Parés *et al.*, 2008; Chaves *et al.*, 2008).

Por su parte, Salas *et al.* (2001) mencionan que, a medida que el agua en las hojas se reduce, la condición hídrica de la planta influye severamente en la fotosíntesis ya sea por estrés hídrico u osmótico; la tasa de fotosíntesis neta disminuye debido a que las hojas cierran sus estomas, lo que impide la entrada de CO₂. De acuerdo a Munns y Tester (2008), la salinidad afecta la conductancia estomática de inmediato y de forma transitoria debido a las relaciones hídricas afectadas, y poco después a causa de la síntesis local de ácido abscísico. La disminución de la conductancia estomática es seguida por la reducción de la tasa de asimilación de CO₂ y la respiración.

Volkmar *et al.* (1997) indican que la tasa de reducción de la fotosíntesis y la translocación de asimilados bajo condición salina, depende de las especies y las concentraciones de sal; algunas pruebas mostraron que a bajos niveles de salinidad se estimula la tasa de fotosíntesis en algunas especies. De igual manera,

Yan *et al.* (2013) indican que, en ocasiones, la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar en las plantas que se desarrolla en condiciones salinas no tienen cambios significativos, a pesar de que la conductancia estomática se reduce. Esto se explica por los cambios en la anatomía de células, hojas más pequeñas y gruesas que dan como resultado una densidad de cloroplastos más alto por unidad de área foliar.

Ante el objetivo de evaluar la respuesta fotosintética de una población de maíz criollo y de un híbrido comercial, sembrados en suelos acondicionados con diferentes niveles de salinidad, bajo condiciones de invernadero, y determinar la respuesta germinativa y de vigor de los genotipos sometidos a diferentes niveles de salinidad bajo condiciones de laboratorio, la hipótesis planteada es que las condiciones de salinidad afectan la fisiología de la germinación en la semilla de maíz, asimismo afecta la capacidad fotosintética de las plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se realizaron dos estudios y se utilizaron dos materiales genéticos de maíz: un híbrido comercial (Dupont Pioneer) y una población de maíz de la raza Elotes Cónicos, proveniente de un trabajo de campo que se llevó a cabo en 2013, en la localidad El Mezquite de Galeana, N. L.

El estudio I del experimento se llevó a cabo en el área de invernadero del Departamento de Fito-mejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial $2 \times 4 \times 4$: factor A= dos materiales genéticos, factor B= tratamientos y factor C= unidades de muestreo, con cuatro repeticiones.

Los tratamientos fueron tres potenciales osmóticos: -1 MPa, -2 MPa, -3 MPa y un testigo en el que se utilizó agua destilada para el riego; como sal se usó el Sulfato de Sodio (Na_2SO_4) y las concentraciones se calcularon de acuerdo a la ecuación de J. H. Van't Hoff (Salisbury y Ross, 1978): $Y_{os} = -C \cdot i \cdot R \cdot T$; donde: Y_{os} = potencial osmótico; C = concentración de la solución, expresada como molalidad (moles de soluto por Kg de H_2O); i = constante, que indica la ionización del soluto para el Na_2SO_4 (i = 3); R = constante de los gases ($0.0831 \text{ Kg, bar mol}^{-1}, \text{K}^{-1}$); T = temperatura absoluta ($^\circ\text{K}$).

Las unidades de muestreo corresponden a las etapas fenológicas, indicadas como el número de

hojas de las plantas al momento de su evaluación: 8, 12, 16 y la hoja final. Para establecer las unidades experimentales se utilizaron bolsas de polietileno de 10 L (macetas); como sustrato se empleó una combinación de vermiculita, perlita y Peat Moss, en una proporción de 1:0.5:0.1 de cada componente. Se sembraron dos semillas por bolsa durante mayo del 2014, y luego de la germinación se eliminó una de las plántulas para finalmente dejar una por maceta.

Las labores culturales consistieron en aplicaciones de fertilizantes y pesticidas para el control de plagas, que se realizaron de acuerdo a las necesidades del cultivo mediante las soluciones de riegos, dos veces por semana durante los primeros dos meses, y posteriormente una vez hasta que concluyó el experimento.

La medición de la actividad fotosintética se realizó con un equipo portátil marca LICOR-6400, previamente calibrado. La Radiación Fotosintéticamente Activa (PARi) utilizada fue, en promedio, de $212.36 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (de acuerdo a lo registrado en el invernadero), el suministro de CO_2 en la cámara fue de $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, a una temperatura promedio de 30°C .

Las variables evaluadas fueron: tasa de asimilación de CO_2 (A) expresada en $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}$; conductancia estomática (g_s), en $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; concentración de CO_2 intercelular (C_i), en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, y tasa de transpiración (E), en $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Los ensayos de germinación estándar y de vigor bajo condiciones de salinidad correspondientes al estudio II, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTs), en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×7 (factor A= dos materiales genéticos), (factor B=tratamientos), con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en siete potenciales osmóticos: -0.25, -0.50, -0.75, -1.0, -1.25, -1.50 y un testigo en los que se utilizó agua destilada. La unidad experimental constó de un taco con 25 semillas. Los potenciales osmóticos se calcularon según la fórmula de J. H. Van't Hoff (Salisbury y Ross, 1978), descrita en el estudio I. La germinación se determinó mediante la prueba estándar (ISTA, 2009), con algunas modificaciones; las semillas se colocaron en papel Anchor húmedo (según los tratamientos) enrollado en forma de taco, para luego depositarlas, durante siete días, en una cámara de germinación marca Termo Scientific, modelo

Precision, a una temperatura de 25 °C, con ocho horas de luz y 16 de oscuridad. Los ensayos recibieron riego cada 48 horas.

Se llevaron a cabo dos conteos: el primero, considerado como una prueba de vigor, se hizo al cuarto día después de la siembra para evaluar el número de plántulas normales; el segundo se realizó al séptimo día para contar las plántulas normales, las anormales y las semillas sin germinar. Los resultados para ambos conteos se reportaron en por ciento. Se midió longitud de plúmula y de radícula en las plántulas normales y se expresó en milímetros. El peso seco de las plúmula y de la radícula de las plántulas normales de cada uno de los tratamientos se obtuvo por separado, para lo cual se introdujeron en bolsas de papel de estraza y se colocaron en una estufa de secado durante 24 horas, a una temperatura de 75° C, para luego pesarlas en una balanza de precisión. Los datos se expresaron en miligramos por plántula (mg planta⁻¹).

Los datos para ambos estudios se obtuvieron mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 2004), de los que se llevó a cabo una comparación de medias para genotipos y tratamientos a través de la prueba múltiple de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio I. Efectos de la salinidad en la germinación y vigor de la semilla

Los cuadrados medios del análisis de varianza para los parámetros relacionados a la tasa asimilación de CO₂ relacionados con este se presentan en el Cuadro 1. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos y entre muestreos (etapas fenológicas) para todas las variables evaluadas. Lo anterior hace referencia al efecto de los potenciales osmóticos en las variables fisiológicas de la planta de maíz, así como en las etapas fenológicas, lo que indica que a mayor tiempo de exposición al estrés salino, más severa la reducción de la tasa de la asimilación de CO₂. Entre genotipos hubo significancia ($P \leq 0.01$) en la tasa de asimilación de CO₂ (A) y en el CO₂ intercelular (C_i); estas diferencias eran de esperarse debido a que se compararon dos materiales genéticos contrastantes.

En la interacción tratamiento x genotipo hubo diferencias significativas ($P \leq 0.01$), solamente en la variable C_p, mientras que en la interacción tratamiento x etapa fenológica se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para la mayoría de las varia-

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para el estudio de asimilación de CO₂.

Fuentes de variación	GL	A	g _s	C _i	E
Tratamiento (Trat)	3	83.84 **	0.00293 **	148.28 **	3.16 **
Genotipo (Gen)	1	61.21 **	0.00013	95.82 **	1.06
Etapa Fenológica (EF)	3	117.03 **	0.00071 **	182.29 **	1.11 **
Trat x Gen	3	10.18	0.00008	17.48 **	0.18
Trat x EF	9	22.30 **	0.00022	39.68 **	1.70 **
Gen x EF	3	24.94 **	0.00033	44.55 **	0.65
Trat x Gen x EF	9	1.67	0.00017	2.55	0.42
Error	71	3.89	0.00020	6.46	0.29
CV (%)		30.83	45.34	0.64	36.11

*, **= Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; GL= Grados de libertad; A= Tasa de asimilación de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); g_s= Conductancia Estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); C_i= CO₂ Intercelular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); E= Tasa de transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); CV (%) = Coeficiente de variación.

bles evaluadas, excepto en conductancia estomática (g_s). En lo correspondiente a la interacción genotipo x etapa fenológica se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en las variables A y C_i . Lo anterior indica la influencia tanto de los potenciales osmóticos, como de las etapas fenológicas y de los materiales genéticos contrastantes.

En el Cuadro 2 se presenta la comparación de medias del análisis de varianza para las variables relacionadas con la tasa de asimilación de CO_2 . En él se observa que al disminuir el potencial osmótico de la solución del suelo, se reduce A; sin embargo, esto no

se debe a la ausencia de C_p , ya que se mantuvo en valores que oscilan entre 388.74 y 394.73 $\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sino a la afectación de las células del mesófilo, que redujeron la tasa de fijación de CO_2 . Se observa también que la reducción en el potencial osmótico afecta la apertura de los estomas, lo cual repercute en una menor tasa de transpiración ($1.16 \text{ mmol } H_2O \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

En general, los resultados presentados anteriormente indican que la fotosíntesis se reduce según disminuyen los potenciales osmóticos, y aunque la conductancia estomática es estadísticamente igual en los diferentes potenciales osmóticos, se observa

Cuadro 2. Comparación de medias del análisis de varianza para el estudio de tasa de asimilación de CO_2 .

	A	g_s	C_i	E
Tratamientos				
Testigo	8.84 a	0.046 a	388.74 c	1.96 a
-1 MPa	6.20 b	0.027 a	392.28 b	1.34 b
-2 MPa	5.45 bc	0.026 b	393.23 ab	1.36 b
-3 MPa	4.31 c	0.023 b	394.73 a	1.16 b
Media	6.39	0.032	391.98	1.49
Tukey ($\alpha=0.05$)	1.46	0.011	1.89	0.40
Genotipo				
Criollo	5.64 b	0.031	392.93 a	1.40
Híbrido	7.06 a	0.033	391.16 b	1.57
Media	6.39	0.032	391.98	1.49
Tukey ($\alpha=0.05$)	0.78	0.005	1.00	0.21
Muestreo				
Hoja 8	9.59 a	0.028 ab	387.99 b	1.22 b
Hoja 12	5.22 bc	0.038 a	393.53 a	1.33 ab
Hoja 16	6.08 b	0.027 b	392.45 a	1.70 a
Hoja final	4.61 c	0.033 ab	394.04 a	1.73 a
Media	6.39	0.032	391.98	1.49
Tukey ($\alpha=0.05$)	1.44	0.011	1.86	0.39

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

A= Tasa de asimilación de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); g_s = Conductancia Estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$);

C_i = CO_2 Intercelular ($\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); E= Tasa de Transpiración ($\text{mmol } H_2O \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

que los valores tienden a reducirse, lo que sugiere que los estomas en la hoja están casi cerrados. Por otro lado, la C_i incrementa al disminuir el potencial osmótico, contrario a lo que se esperaba, lo cual puede deberse a que el CO_2 que se encuentra en los espacios intercelulares no está siendo fijado por la enzima RUBISCO, lo que indica que el mesófilo se ve afectado a causa del estrés salino. La tasa de transpiración tiene el mismo comportamiento que la conductancia estomática, ya que los estomas están casi cerrados y el intercambio de gases a través de las membranas igualmente se reduce. Estos efectos en las variables relacionadas con la tasa de asimilación de CO_2 hacen referencia a que el estrés causado por los potenciales osmóticos, tiene efecto directo en la eficiencia del mesófilo en la hoja.

El mesófilo comprende la mayor parte del interior de una hoja; en él se encuentran los cloroplastos donde se contiene la clorofila, que se conoce como el sistema de elaboración y reserva, y tiene varias funciones importantes: es el sitio donde la planta absorbe la mayor parte del CO_2 , y en el que los espacios intercelulares permiten la circulación de aire, indispensable para el intercambio de gases para la fotosíntesis, transpiración y respiración; es también la responsable de almacenar la energía y los nutrientes hasta que se envían a otro sitio de la planta donde se requieren; asimismo, la clorofila es un mecanismo de acumulación de CO_2 , para disponer de reservas que puedan satisfacer la capacidad de asimilación de la encima RUBISCO de forma suficiente y constante (Mediavilla y Escudero, 2008).

Los resultados de este estudio indican que el estrés causado por la salinidad interfiere con la función del mesófilo, ya que se observó cómo el C_i se encuentra disponible en los espacios celulares del mesófilo pero no se está aprovechando, lo cual se refleja en una baja tasa de asimilación de CO_2 .

Casierra *et al.* (2000) mencionan que se han realizado algunos ensayos para analizar el efecto de la salinidad sobre la fotosíntesis en hojas de plantas de espinaca afectadas por salinidad con NaCl, ésta se inhibió debido a una disminución de la entrada de CO_2 a través de los estomas y su conducción en el mesófilo, lo cual se puede revertir al colocar las plantas en un medio libre de sales; sin embargo, cuando el contenido de Na^+ en las hojas es superior a 3% de la materia seca, el efecto dañino de las sales no es reversible.

En relación al efecto entre los genotipos, Escalante *et al.* (2008) indican que el mejoramiento gené-

tico de las especies aporta una variabilidad significativa en términos de fotosíntesis debido a la capacidad de éstas a adaptarse a diferentes medios y factores de estrés; a su vez, mencionan que al estudiar variables fisiológicas en distintos genotipos, las diferencias encontradas pueden entenderse como la adaptación o la estabilidad que presenta cada uno de los materiales a estos medios.

En lo que corresponde a los muestreos, los resultados de la comparación de medias indican que la fotosíntesis se reduce según aumenta la etapa fenológica (hoja) donde se realiza la medición, lo cual puede deberse a que existen diferencias en la capacidad fotosintética entre hojas, y según la edad de la planta, así como al efecto del estrés salino, que tiene mayor consecuencia al prolongarse en el tiempo. Yokoi *et al.* (2002) hacen referencia a que la fotosíntesis generalmente aumenta rápidamente durante el desarrollo de la hoja, y que alcanza su máximo cerca de la expansión total, lo que está asociado con los cambios anatómicos y fisiológicos de las hojas en su desarrollo. El descenso gradual de la fotosíntesis tras la expansión total de la lámina foliar ocurre simultáneo al descenso de la cantidad de la enzima RUBISCO, de la fosforilación y de la conductancia estomática.

El factor iónico de la salinidad radica en su toxicidad. Los iones que más problemas inducen son el cloro y el sodio, aunque otros como el nitrato, sulfato o el amonio también son tóxicos. Su acumulación en las hojas produce clorosis marginal de la hoja y, con ello, una disminución del área fotosintética, lo que determina reducciones en la fotosíntesis neta. Otros efectos de la toxicidad de sales son la disminución en la síntesis de proteínas, con lo que se afectan procesos tales como la fotosíntesis y el metabolismo de producción de energía y de lípidos (Sandoval *et al.*, 2010).

Algunos síntomas de estrés salino sugieren que la toxicidad es consecuencia del daño de alguna membrana; por ejemplo, efectos en el sistema fotosintético por daño en la membrana cloroplástica o efectos en el sistema respiratorio por daños en la membrana mitocondrial. Las concentraciones a las cuales el efecto tóxico tiene lugar, difieren con la capacidad genética de la especie, el estado de crecimiento y las interacciones medioambientales (Ramírez, 2010).

Estudio II. Efectos de la salinidad en la germinación y vigor de la semilla

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables fisiológicas de las semillas de maíz se presentan en el Cuadro 3. Se encontraron diferen-

cias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos para todas las variables evaluadas: entre genotipos en las variables vigor ($P \leq 0.05$), y en peso seco y longitud de radícula ($P \leq 0.01$); respecto a la interacción tratamiento x genotipo hubo diferencias significativas en vigor y peso seco de plántula ($P \leq 0.05$), así como en peso seco y longitud de radícula ($P \leq 0.01$). Estas diferencias se deben a que se compararon materiales genéticos diferentes (criollo e híbrido): el híbrido se sometió a mejoramiento genético, por lo que presenta una mayor estabilidad bajo condiciones adversas, mientras que el material criollo es genotipo nativo.

El propósito de las pruebas de germinación fue determinar la capacidad de germinación de las semillas y calcular la cantidad de semillas necesarias para la siembra agrícola. Benderradji *et al.* (2011) mencionan que la salinidad afecta la siembra, retrasa el desarrollo de la planta y reduce el rendimiento del cultivo, y que estos efectos difieren según la etapa de crecimiento.

La comparación de medias para las variables fisiológicas del ensayo de germinación y vigor se muestra en el Cuadro 4. Se observa que para tratamientos en las variables vigor y germinación, el mayor porcentaje se obtuvo en el testigo, aunque no es estadísticamente diferente a los potenciales osmóticos -0.25, -0.50 y -0.75 MPa; a partir del potencial osmótico -1.0

MPa los porcentajes están por debajo de la media, y el valor más bajo corresponde a -1.50 MPa. En lo que respecta a los genotipos, el híbrido obtuvo el mayor porcentaje de vigor y germinación, en comparación con el criollo que estuvo por debajo de la media. Lo anterior indica la influencia de los tratamientos en el vigor y en la germinación de la semilla, y que el material híbrido se comportó mejor bajo condiciones de estrés salino, en comparación al genotipo criollo.

En lo correspondiente a la comparación de medias para tratamientos en las variables peso seco, y longitud de plúmula y radícula, los mayores valores se obtuvieron en el testigo; en la variable longitud de plúmula, los potenciales osmóticos -0.75, -1.0, -1.25 y -1.50 MPa fueron estadísticamente iguales. Por otro lado, en la comparación de medias para genotipos, el híbrido presentó los mayores valores para las variables peso seco y longitud de radícula. Lo señalado anteriormente hace referencia al efecto de los tratamientos en la reducción del peso seco, y en la longitud de plúmula y de radícula, lo que indica que entre más negativo fue el potencial osmótico, más severo resultó el efecto. Por otra parte, en el Cuadro 4 se observa que el genotipo híbrido tiene un mejor comportamiento bajo estrés salino, lo cual pone en evidencia el trabajo de fitomejoramiento que se ha llevado a cabo.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables fisiológicas de las semillas.

Fuentes de variación	GL	V (%)	G (%)	PSP (mg planta ⁻¹)	PSR (mg planta ⁻¹)	GL	LP (mm)	LR (mm)
Tratamiento (Trat)	10	11055.5 **	11273.5 **	1382.52 **	2306.7 **	10	111820.7 **	269660.3 **
		1	0		2	10	0	1
Genotipo (Gen)	1	630.54 *	176.72	0.27	777.39 **	1	844.33	18190.51 **
Trat x Gen	10	288.67 *	47.12	15.37 *	113.63 **	10	695.48	5845.99 **
Error	44	123.39	53.57	6.27	14.83	723	1614.06	1400.69
CV (%)		27.64	18.05	22.09	23.12		70.22	23.61

*, **= Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. GL= Grados de Libertad; V= Vigor; G= Germinación; PSP= Peso seco de plúmula; PSR= Peso seco de radícula; LP= Longitud de plúmula; LR= Longitud de radícula; CV= Coeficiente de variación.

Cuadro 4. Comparación de medias del análisis de varianza para las variables fisiológicas de las semillas.

Tratamientos	V	G	PSP	PSR	LR	E
Testigo	96.00 a	97.33 a	46.40 a	56.13 a	126.07 a	223.58 a
-0.25 MPa	96.67 a	96.00 a	28.88 b	42.01 b	73.76 b	217.15 a
-0.50 MPa	89.33 a	90.66 a	21.73 c	31.81 c	49.66 bc	171.74 b
-0.75 MPa	84.67 a	84.66 a	12.97 d	24.27 c	28.52 cd	149.99 b
-1.00 MPa	44.00 b	46.00 b	7.95 e	15.73 d	23.35 cd	111.38 c
-1.25 MPa	20.67 c	25.33 c	4.66 ef	11.31 d	19.45 cd	75.69 d
-1.50 MPa	10.67 c	6.00 d	2.08 f	1.94 e	25.63 cd	13.37 e
Media	40.18	40.54	11.33	16.65	57.20	158.46
Tukey ($\alpha=0.05$)	21.67	14.33	4.90	7.54	37.66	35.08
Genotipo						
Criollo	37.09 b	38.90	11.27	13.22 b	56.17	134.37 b
Híbrido	43.27 a	42.18	11.40	20.08 a	58.29	183.81 a
Media	40.18	40.54	22.11	35.75	57.20	158.46
Tukey ($\alpha=0.05$)	5.51	3.63	1.24	1.91	5.78	5.39

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales [Tukey, $\alpha=0.05$]. V= Vigor (%); G= Germinación (%); PSP= Peso seco de plúmula (mg planta^{-1}); PSR= Peso seco de radícula (mg planta^{-1}); LP= Longitud de plúmula (mm); LR= Longitud de radícula (mm).

En un estudio realizado por Begum *et al.* (2010), donde evaluaron el efecto de la salinidad en la absorción de agua, la absorción de iones y la eficiencia metabólica de semillas de trigo, indicaron que la salinidad retardó y disminuyó el porcentaje de germinación a través de la menor absorción de agua y mayor acumulación de sodio y cloro. Por su parte, Dadar *et al.* (2014) realizaron un estudio en el que se evaluó el efecto del estrés salino sobre índices de germinación de semillas de sorgo, el cual incluyó cinco niveles de salinidad: 0, 3, 6, 9, y 12 dS/m; los resultados mostraron que con el aumento de los niveles de salinidad, todos los parámetros medidos, incluido el porcentaje de germinación, la tasa de germinación, la longitud y peso de radícula y plúmula, disminuyeron. Ambos estudios concuerdan con los resultados encontrados en este trabajo, en el que todas las variables evaluadas disminuyeron según se redujeron los potenciales osmóticos; a partir de -1.0 MPa el porcentaje de germinación y vigor se presentó por debajo de 50%.

Bazzigalupi *et al.* (2008) mencionan que la mayor parte de las plantas son más sensibles a la salinidad durante la germinación y emergencia, que durante los estadios de crecimiento y desarrollo posteriores.

La tolerancia a la salinidad de las semillas en su germinación es una habilidad de éstas para soportar los efectos de altas concentraciones de sales solubles en el medio. La presencia de sales en el medio disminuye el potencial hídrico, provocando una menor disponibilidad de agua para las semillas, de manera que éstas deben generar suficiente potencial osmótico para mejorar el estatus hídrico de los embriones y permitir su crecimiento; la tolerancia a salinidad de muchas especies en la germinación no está consistentemente relacionada a la tolerancia durante la emergencia, crecimiento vegetativo, floración y fructificación; así, por ejemplo, la cebada y el algodón, los cultivos tipificados de alta tolerancia a las sales, son relativamente sensibles durante la germinación y en el estado de plántula, mientras que otras especies

como el maíz, las arvejas y las habas son más sensibles durante estados más avanzados de desarrollo (Cortés y Saavedra, 2007).

Los efectos de la salinidad varían dependiendo del estadio de crecimiento y de la duración del estrés. En algunas especies, la tolerancia a la salinidad en la germinación es independiente de la tolerancia a la salinidad en la emergencia, crecimiento vegetativo, floración y fructificación (Garibay *et al.*, 2009).

CONCLUSIÓN

La salinidad afectó la respuesta fotosintética de los materiales genéticos evaluados (criollo e híbrido); la asimilación de CO₂ se redujo significativamente entre tratamientos (potenciales osmóticos), genotipos y etapas fenológicas (hojas) y el potencial osmótico -3.0 MPa fue el que resultó ser más severo en todas las variables evaluadas.

Los procesos fisiológicos de germinación y vigor, en las semillas de los genotipos evaluados, se vieron limitados por la salinidad. Tanto el híbrido como la población criolla presentaron porcentajes de germinación y vigor superior a 80% hasta potenciales osmóticos de -0.75 MPa; a partir de este potencial osmótico los valores se redujeron por debajo de 50%. Entre genotipos se presentaron diferencias en vigor, peso seco y longitud de radícula, y fue el híbrido el que tuvo mejor comportamiento.

Con los resultados obtenidos en el estudio se puede aceptar la hipótesis de que la salinidad afecta la fisiología de la germinación de la semilla, así como la capacidad de asimilación de CO₂ en los genotipos de maíz estudiados.

LITERATURA CITADA

BAZZIGALUPI, O., S. Pistorale y A. Andrés. 2008. Tolerancia a la salinidad durante la germinación de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Ciencia e investigación agraria* 35(3):277-285.

BEGUM, F., I. Ahmed, A. Nessa and W. Sultana. 2010. The effect of salinity on seed quality of wheat. *J. Bangladesh Agril. Univ.* 8(1):19-22.

BENDERRADJI, L., F. Brini, S. Ben Amar, K. Kellou, J. Azaza, K. Masmoudi, H. Bouzerzour and M. Hanin. 2011. Sodium transport in the seedlings of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes showing contrasting

salt stress tolerance. *Australian journal of crop science* 5(3):233-241

CARPICI, E., N. Celik and G. Bayram. 2009. Effects of salt stress on germination of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology* 8(19):4918-4922

CASIERRA, F., G. Eberf y P. Lüdders. 2000. Efecto de la salinidad por cloruro de sodio sobre el balance de nutrientes en plantas de lulo (*Solanum quitoense* L.). *Agronomía Colombiana* 17:85-90.

CHAVES, M., J. Flexa and C. Pinheiro. 2008. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. doi: 10.1093/aob/mcn125

CHÁVEZ, L., A. Álvarez, Y. Camejo, R. Ramírez y D. Batista. 2012. Efecto del estrés salino en la absorción de agua por las semillas y el crecimiento en plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Granma Ciencia* 16(1):1-10.

CORTÉS, V., P. Alanoca y M. Calle. 2014. Efecto de la salinidad sobre la germinación y crecimiento vegetativo de plantas de tomate silvestres y cultivadas. *Interciencia* 37(7):511-517.

CORTÉS, V. y G. Saavedra. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA* 23(3):47-58.

DADAR, A., A. Asgharzaded and M. Nazaric. 2014. Investigation effects of different salinity levels on sorghum bicolor seed germination characters. *Indian J.Sci.Res.* 7(1):1031-1034.

ESCALANTE, L., R. Trejo, O. Esquivel, J. Arreola y A. Flores. 2008. Comparación de tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas* 7:165-172.

FRANCA, B., L. De Sa Ribeiros y C. Aragao. 2007. Germination, initial growth and cotyledon protein content of bean cultivars under salinity stress. *Revista Brasileira de Sementes* 29(2):106-110.

GARIBAY, A., E. Troyo, J. García, B. Murillo, F. Higinio y E. Pimienta. 2009. Efecto del estrés hídrico edáfico en emergencia y desarrollo de plántula en las especies de chile *Capsicum frutescens* L. y *Capsicum annuum* L. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10:405-413.

GONZÁLEZ, S. 2009. Germinación de diferentes cultivos en condiciones de salinidad cuantitativa y cualitativa. Tesis de grado doctoral. Colegio de Postgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Texcoco, México. 194 p.

International Seed Testing Association. ISTA. 2009. International Rules for Seed Testing. Chapter 5: The germination test. ISTA. Bassersdorf, Switzerland.

- MARTÍNEZ, N., C. López, M. Basurto, y R. Pérez. 2011. Influencia del tamaño de la semilla de maíz (*Zea mays* L.) en el crecimiento de la plántula en condiciones de salinidad. *Tecnociencia Chihuahua* 5(3):156-161.
- MEDIAVILLA, G. y A. Escudero. 2008. Limitaciones estomáticas y mesofílicas de la fotosíntesis en plántulas y árboles maduros de *Quercus faginea*. *Sociedad Española de Ciencias Forestales* 28:291-296.
- MÉNDEZ, J. y J. Merazo. 1997. Efecto de la salinidad sobre la germinación de semillas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. *SABER* 9(1):54-61.
- MUNNS, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *The Annual Review of Plant Biology* 59(6):51-81.
- NICASIO, S., E. Sánchez, A. Orozco y A. Gamboa. 2011. Efecto del precondicionamiento y el sustrato salino en la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays*) raza chalqueño. *Agrociencia* 45(2): 195-205.
- PARÉS, J., M. Arizaleta, M. Sanabria y G. García. 2008. Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor foliar en plantas de *Carica papaya* L. *Acta Botanica Venezuelana* 31(1):27-34.
- Ramírez, L. 2010. Tolerancia a salinidad de *Persea Americana* en cultivo *in vitro*. Tesis de Grado Doctoral. Colegio de Postgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Texcoco, México. 121 p.
- SALAS, J., M. Sanabria y R. Pire. 2001. Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidos a tratamientos salinos. *Bioagro* 13(3):99-104.
- SALISBURY, F., and C. Ross. 1978. *Plant physiology*. Calif Wadsworth Pub. Co. 2da ed. California, USA. 422 p.
- SANDOVAL, F., J. Arreola, Á. Lagarda, R. Trejo, O. Esquivel y G. García. 2010. Efecto de niveles de NaCl sobre fotosíntesis y conductancia estomática en nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch). *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas* 9:135-141.
- TORABI, M. and R. A. Halim. 2013. Physiological and biochemical responses of plants in saline. *Crop Biology and Agriculture in Harsh Environments-Roychowdhury, R.* (Ed.), Lambert Academic Publishing. pp. 48-80.
- VOLKMAR, K., Y. Hu and H. Steppuhn. 1997. Physiological responses of plants to salinity: A review. *Canadian Journal of Plant Science*. doi: 189.156.116.31
- YAN, K., H. Sho, C. Shao, P. Chen, S. Zhao, M. Brestic and X. Chen. 2013. Physiological adaptive mechanisms of plants grown in saline soil and implications for sustainable saline agriculture in coastal zone. *Acta Physiologiae Plantarum* 35:2867 – 2878.
- YOKOI, S., R. Bressan and P. Hasegawa. 2002. Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS Working Report* 1:25-33.

Efecto de tres sistemas de labranza con el uso de un mejorador en la retención de humedad del suelo en un cultivo de avena (*avena sativa* sp)

Effect of three tillage systems with the use of a breeder in the water retention of the soil under a crop of oats (*avena sativa* sp)



Bersain Vázquez-López*, Martín Cadena-Zapata¹, Alejandro Zermeño-González¹, Santos Gabriel Campos-Magaña¹ y Félix de Jesús Sánchez-Pérez¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México.
E-mail: vazquez.bersain@hotmail.com [*Autor responsable]

RESUMEN

Se evaluó el efecto de tres sistemas de labranza: labranza cero (NL), vertical (LV) y convencional (LC), y un mejorador orgánico (algaenzimas) en un suelo franco-arcilloso para determinar la retención de humedad y el rendimiento de avena forrajera (*avena sativa*). El experimento se estableció bajo un arreglo experimental de diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y subdivididas con tres repeticiones. La humedad del suelo se determinó con una sonda TDR FIELDSCOUT 300, en estratos de 7.6, 12 y 20 cm. En los resultados de retención de humedad se observó diferencia significativa entre las labranzas. En los tres estratos superficiales (7.6, 12 y 20 cm), la NL tuvo mayor contenido de humedad en comparación a la LV y LC. A profundidad de 20 cm, la NL=38.12%, LV= 32.10% y LC= 26.62% de humedad. En volumen de raíz y resistencia a la penetración no se tuvo diferencia significativa. En el rendimiento no se encontró diferencia significativa, ya que estadísticamente fueron iguales. El mejorador de suelo incidió en la retención de humedad del suelo. Los sistemas de labranzas, debido a la modificación de las propiedades físicas, impactaron de manera muy significativa en la retención de humedad del suelo.

Palabras clave: labranza, mejorador, retención de humedad, densidad aparente, porosidad

ABSTRACT

The effect of three tillage systems: zero-tillage (NL), vertical (LV) and conventional (LC), and an organic breeder (algaenzimas) in a clay-loam soil to determine the moisture retention and performance of forage oats (*avena sativa*). The experiment was established under a completely randomized design experimental arrangement in accordance with plots divided and subdivided with three replications. The soil moisture was determined with a TDR FIELDSCOUT 300 probe, in strata of 7.6, 12 and 20 cm. Results of moisture retention showed significant differences between the ploughings. In the three superficial layers (7.6, 12-20 cm), the NL had higher moisture content compared to the LV and LC. At depth of 20 cm, the NL=38.12%, LV = 32.10% and LC = 26.62% humidity. Volume of root and penetration resistance had no significant difference. The performance difference was not found significant between treatments, since they were statistically equal. The soil improver, played a role in soil moisture retention. Filesystems ploughings, due to modification of physical properties, impacted significantly on the soil moisture retention.

Key words: tillage, breeder, retention of moisture, bulk density, porosity

INTRODUCCIÓN

La labranza influye en la conservación del suelo pues tiene efecto en sus propiedades químicas, biológicas y físicas. En el caso de las físicas, como la estructura, densidad aparente, compactación, porosidad, infiltración, entre otras, constituyen una parte de los indicadores del suelo y son de importancia en el desarrollo del cultivo.

La labranza o laboreo del suelo, que se realiza antes de la siembra para facilitar la germinación de las semillas, y el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas cultivadas, consiste en la remoción de su capa vegetal. Esta actividad también permite el control de malezas y con ella se busca mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (FAO, 2013).

El incremento de la población mundial ha provocado una gran demanda de alimentos, lo que a su vez ha propiciado que se intensifique el laboreo del suelo. Esta práctica ha traído como resultado la compactación del suelo y la afectación, en forma drástica, de sus propiedades físicas, en particular en el almacenamiento y suministro de agua. A consecuencia del aumento de la densidad aparente y disminución de la porosidad se incrementa la resistencia del suelo, lo que disminuye la infiltración y la capacidad de retención de agua, y reduce la eficiencia de los fertilizantes y el rendimiento de los cultivos (Hamsa y Anderson, 2005).

Para evitar la degradación del suelo, el laboreo debe realizarse de manera adecuada, de lo contrario se presenta su degradación, lo que genera que la productividad del cultivo se vea afectada negativamente. Algunos investigadores señalan que el método de labranza escogido debe ser capaz de ajustarse ampliamente al sistema de manejo del suelo y desarrollo radicular de los cultivos, pensando siempre en conservar efectivamente los recursos suelo y agua (Brown *et al.*, 1985; Harman *et al.*, 1989; Bravo, 1993; Bravo, 1995).

La tendencia actual en el laboreo de los suelos debe ser hacia el uso de sistemas de labranza que permitan un ahorro de energía y propicien un deterioro mínimo de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Figueroa y Ventura, 1990).

En la actualidad, para que haya menor deterioro de la estructura del suelo y mayor rendimiento en la producción, se han diseñado implementos agrícolas más adecuados, a la vez que nuevas técnicas agrícolas.

En los sistemas de labranza donde se perturba el suelo, se consiguen generalmente mejores propieda-

des físicas: mayor macroporosidad y conductividad hidráulica y menor densidad aparente. Sin embargo, el efecto de la labranza sobre dichos parámetros puede ser transitorio, ya que, por impacto de las gotas de lluvia, el suelo puede recompactarse y disminuir la macroporosidad, lo cual tiene una influencia muy fuerte sobre el comportamiento del agua del suelo (Adeoye, 1982).

La labranza de conservación como cero labranza o labranza reducida, son una opción viable para la agricultura desde el punto de vista de la productividad (Van den Putte *et al.*, 2010). Las actividades agrícolas consumen gran cantidad de agua, por lo que en algunas regiones donde es escasa se requieren soluciones prácticas e innovadoras para su captación y manejo (Santos-Pereira *et al.*, 2009).

Para mantener la seguridad alimentaria, los sistemas agrícolas deben ser transformados para aumentar su capacidad productiva en forma sostenible, para lo cual existe una constante búsqueda de prácticas o tecnologías adecuadas de conservación del suelo, agua y energía.

La labranza cero y vertical son las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas, por lo que es necesario validar sus ventajas en cuanto a la retención de humedad, que es lo que permite un aumento entre la relación rendimiento-agua durante el ciclo del cultivo (Hook y Gascho, 1998).

El laboreo mecánico del suelo en cualquiera de sus formas, no siempre funciona como se espera (Conant *et al.*, 2007). Su aplicación excesiva puede provocar deformaciones de la estructura, compactación de las capas sub-superficiales, por consiguiente, cambios en la disponibilidad de humedad en la zona radicular de las plantas cultivadas (González *et al.*, 2004).

La constante investigación para trabajar el suelo, conjuntamente con el empleo de nuevas técnicas agrícolas, ha permitido el diseñado de implementos agrícolas para lograr menor deterioro de la estructura y obtener mayor rendimiento en la producción.

En los últimos 15 años, las necesidades de energía en la agricultura han crecido rápidamente. En general, se necesita más energía, y en determinadas épocas del año, en particular, por lo que es necesario aplicar la mecanización agrícola, que no debe confundirse con tractorización, pues esta última es el empleo de tracción mecánica, y sólo es un componente más de la mecanización agrícola (Cruz, 1992).

La combinación de prácticas de manejo del suelo: sistemas de labranza de conservación y fertilización orgánica, ha incrementado los indicadores de

calidad biológica del suelo en un corto tiempo, por lo que se considera una opción para su manejo sostenible (Miganjos *et al.*, 2006). Además, los mejoradores de suelos intervienen de forma significativa en las propiedades fisicoquímicas, lo que incrementa su contenido de materia orgánica (Cooperband, 2002; Bronick y Lal, 2005).

Considerando la importancia de la labranza y los mejoradores de suelo para su manejo sostenible, en este trabajo se planteó evaluar el efecto de tres sistemas de labranza con el uso de un mejorador para la retención de humedad, en un cultivo de avena.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el campo experimental ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, cuyas coordenadas geográficas son: 25° 23' 42" de latitud norte y 100° 59' 57" de longitud oeste y una altitud de 1 743 msnm. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima en Buenavista, donde se ubica la universidad, se expresa por la fórmula $BS0kx^2(w)(e')$, que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año, tendiendo a llover más en el verano y clima extremoso. La temperatura media anual es de 16.9° C, con una precipitación media anual de 435 mm y una evaporación media anual que oscila entre los 1,956 mm. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades promedio de 25.5 km h⁻¹.

El suelo del sitio experimental tiene características de textura franco arcilloso, xerosol, con una densidad aparente de 1.28 g cm³, una velocidad de infiltración de 3.98 cm h⁻¹ y una retención de humedad de 230 mm m⁻¹ a capacidad de campo; es un suelo con más de dos metros de profundidad, con un contenido de materia orgánica bajo (2.5%) y una resistencia a la penetración de 3 768.5 kPa.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y subdivididas. Se trabajó con nueve parcelas con dimensiones de 40 por 12 m (480 m²). Se establecieron tres tratamientos de labranza, que se repitieron tres veces: convencional (arado de discos y rastra a 30 cm de profundidad), vertical (arado de cinceles y rastra a 30 cm de profundidad) y cero labranzas (siembra directa), y se mantuvieron los residuos de cosecha del ciclo anterior. Cada tratamiento se dividió en

cuatro franjas iguales de 3 por 40 m (120 m²). Para el mejorador de suelo se utilizó M0 (Testigo) y M1 (Algaenzimas), que se aplicó a cada franja. Se estableció como cultivo avena forrajera (*avena sativa*), con una densidad de siembra de 120 kg ha⁻¹. El tipo de semilla que se utilizó fue de la variedad Chihuahua, certificada, con 99% de germinación. La lámina de riego aplicada durante el ciclo del cultivo fue de 10 cm de agua.

El seguimiento a la humedad durante el ciclo de cultivo se realizó por medio de una sonda TDR FIELDSCOUT 300, a profundidades de 7.6, 12 y 20 cm para registrar el contenido de humedad volumétrico disponible en el suelo. En cada unidad experimental se tomaron ocho lecturas por profundidad. La frecuencia de la toma de datos se hizo un día después de aplicar el riego, para esperar a que llegara a la capacidad de campo. Los muestreos se realizaron durante todo el ciclo vegetativo del cultivo.

Para determinar el desarrollo radicular se obtienen muestras aleatorias (cinco plantas por franja) durante el espigamiento del cultivo, y mediante excavaciones, por tratamiento de labranza y mejorador, se extrajo cuidadosamente la raíz completa, que se limpió cuidadosamente en el mismo lugar para retirar la tierra adherida; posteriormente se midió con un vernier a partir de las tres coordenadas (Hidalgo y Candela, 1969). Los resultados se promediaron para obtener el volumen de exploración por tratamiento.

La resistencia a la penetración del suelo se realizó mediante un penetrómetro digital manual FIELDSCOUT SC 900 que proporciona las lecturas de la profundidad en incrementos de 2.5 (1") y la resistencia a la penetración. Los datos de compactación se leyeron en forma digital en PSI o kPa.

Para realizar el muestreo del forraje en campo se utilizó un marco de madera, cuyos lados miden 0.25 cm y su área total es de 0.0625 m² (Martínez *et al.*, 1990). Se colocó el marco en el suelo y el material que quedó dentro de él se cortó y pesó en verde; posteriormente se puso a deshidratar a una temperatura de 70° C, durante 72 horas, hasta que perdió la humedad y su peso fue constante, para obtener el rendimiento en forraje seco por hectárea.

Para procesar los datos se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con el programa R, versión 2.14. Los datos del ANOVA con sus respectivas interacciones y las comparaciones de medias, para cada factor analizado, se obtuvieron por el método de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza, para la variable humedad con sus respectivas interacciones (Cuadro 1) se tuvo una diferencia significativa en los dos factores labranza-mejorador para los dos ciclos del cultivo, con un valor de 0.00407 ** y 0.00351 **. En el Cuadro 2 se pueden observar las DMS del experimento, que muestran que la NL retuvo mayor humedad, en comparación con LC y LV.

Tanto en labranzas como en mejorador, el análisis de varianza para exploración de raíces no muestra diferencia significativa en los dos ciclos de cultivo. En el Cuadro 3 se puede apreciar la DMS, los valores que existen entre labranzas con respecto a volumen de exploración de raíces; no existe diferencia significativa.

En la Figura 1 se observa el análisis de resistencia a la penetración durante los ciclos 2015 y 2016, en los cuales no se encuentran diferencias significativas durante los dos ciclos. En la misma figura se puede observar que, independientemente del sistema de labranza, los valores de resistencia de la penetración van aumentando con la profundidad. Según Bravo y Andreu (1995), los valores menores a los 3 Mpa son aptos para que se tenga un buen desarrollo de las raíces.

El análisis de varianza respecto al rendimiento durante los cuatro ciclos no muestra diferencia significativa en los dos ciclos de cultivo. Para el ciclo 2015 se tiene diferencia significativa entre labranzas, en tanto que en el ciclo 2016 estadísticamente son iguales, numéricamente son diferentes. Esto de acuerdo a la DMS que se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 1. CANOVA para la humedad.

	F-valor	Pr(>F)
Labranza	29.36	0.00407 **
Mejorador	21.594	0.00351 **
Labranza: Mejorador	0.757	0.50922
CV:5.69		

Cuadro 2. Comparación múltiple de medias entre labranzas en los dos ciclos de cultivo.

Labranzas	Humedad avena 2015			Labranzas	Humedad avena 2016		
	0 - 7.6 cm	0 - 12 cm	0 - 20 cm		0 - 7.6 cm	0 - 12 cm	0 - 20 cm
NL	32.45 a	33.41 a	39.30 a	NL	25.77 a	32.16 a	38.12 a
LV	25.03 b	25.91 b	32.74 ab	LV	19.89 b	27.48 b	32.10 b
LC	21.74 b	22.78 b	27.57 b	LC	18.31 b	23.37 c	26.62 c

Análisis del volumen de exploración de raíces por efecto del sistema de labranza y mejorador.

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto al volumen de exploración de raíces ciclo 2015-2016.

Labranzas	Volumen raíz avena 2015	cm ³	Labranzas	Volumen raíz avena 2016	cm ³
LV	167.57 a	cm ³	LV	46.62 a	cm ³
NL	205.88 a	cm ³	NL	39.71 a	cm ³
LC	238.90 a	cm ³	LC	48.65 a	cm ³

Análisis del volumen de exploración de raíces por efecto del sistema de labranza y mejorador.

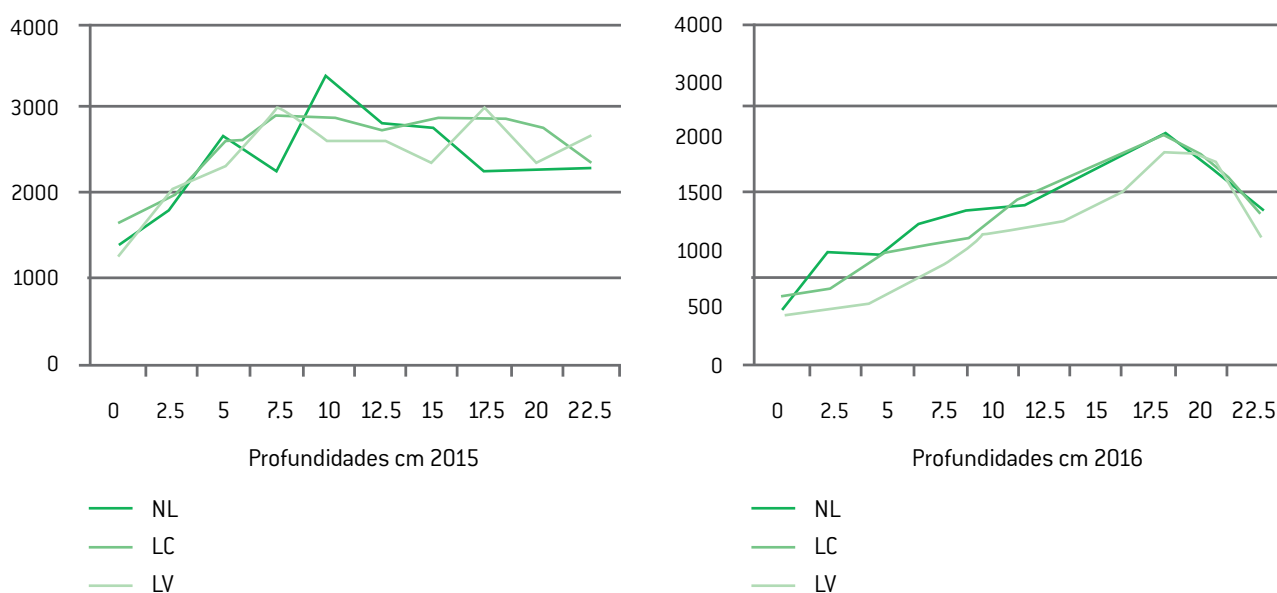


Figura 1. Análisis de los datos de resistencia a la penetración del suelo con el cultivo de avena durante los ciclos 2015 y 2016.

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto al rendimiento ciclo 2015-2016.

Rendimiento avena 2015			Rendimiento avena 2016		
LV	9.56 ab	Ton/ha	LV	9.64 a	Ton/ha
LC	10.30 a	Ton/ha	LC	8.68 a	Ton/ha
NL	5.12 b	Ton/ha	NL	7.9 a	Ton/ha

CONCLUSIONES

La labranza cero retiene mayor humedad en diferentes profundidades, seguido de la labranza vertical. Respecto a estos dos sistemas de labranza, el sistema vertical no presenta grandes variaciones en todas las variables analizadas debido a que siempre se mantiene en tendencias intermedias.

Después de dos ciclos de cultivo, la DA tiene una diferencia significativa a profundidad de 5 cm, y en relación al rendimiento, éste no presenta diferencia significativa en los dos ciclos.

LITERATURA CITADA

- ADEOYE, K. B. 1982. Effect of tillage depth on physical properties of a tropical soil on yield of maize, sorghum and cotton. *Soil Tillage Res.* 2: 225-231.
- BRAVO, C. 1993. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia en el rendimiento del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en un Alfisol del estado Guárico. Tesis. Postgrado en ciencias del suelo. Facultad de agronomía. UCV. Macaray. 117 p
- BRAVO, C. 1995. La labranza conservacionista en Venezuela. III Reunión de la Red Latinoamericana de labranza conservacionista (Relaco). San José, Costa Rica. Memorias. pp: 235-247.
- BRONICK, C. J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- BROWN, S. M. and T. Whitwell; J. T. Touchton y C. H. Burmester. 1985. Conservation tillage systems for cotton production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1256-1260.
- CONANT, R., Easter, M., Paustian, K., Swan, A. and Williams, S. Impacts of Periodic Tillage on Soil C Stocks: A Synthesis. *Soil and Tillage Research.* Vol. 95, 2007, pp. 1-10.
- COOPERBAND, L. 2002. Building soil organic matter with organic amendments. Center for Integrated Agricultural Systems. University of Wisconsin-Madison USA.
- CRUZ, L.A. 1992. El papel de la tracción animal en la producción agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- FIGUEROA S., B. y E. Ventura R. Jr. 1990. Instructivo para la evaluación del proyecto. Efecto de la labranza en la estructura del suelo y su relación con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Salinas, San Luis Potosí, México.
- GONZÁLEZ, C.G., Sánchez-Cohen, I. y García-Arellano, D. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. *Terra Latino.* Vol. 22, 2004, pp. 279-287.
- HAMZA, M. A. y W. K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Research* 82:121-145.
- HARMAN, L. W., G. J. Michels y A. F. Wiese 1989. A conservation tillage systems for profitable cotton production in the Central Texas High Plains. *Agron. J.* 81:615-618.
- HIDALGO, I. y Candela, M. Morfología radicular de la vid. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), 1969, p. 101.
- HOOK, J.E., and Gascho, J.G. Multiple Cropping for Efficient Use of Water and Nitrogen. In *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen.* Hrgrofe, W.L. (editor). Madison, USA: ASA Special Publication. American Society of Agronomy, Inc., Vol. 51, 1998, pp. 7-20.
- MIGANJOS, I., Pérez, R., Albizu, I., and Garbisu, C. Effects of Fertilization and Tillage on Soil Biological Parameters. *Enzyme and Microbial Technology.* Vol. 40, 2006, pp. 100-106.
- MONTGOMERY, D.C. *Diseño y análisis de experimentos.* México, D.F.: Iberoamérica, 1991, 589 pp.
- SANTOS-PEREIRA, L.A., Cordery, I., and Iacovides, I. *Coping with Water Scarcity: Addressing the Challenges.* The Netherlands: Springer Science and Business Media B.V., 2009.
- VAN DEN PUTTE, A., Govers, G., Daniels, J., Gillijns, K., and Demuzere, M. Assessing the Effect of Soil on Crop Growth: A Meta-Regression Analysis on European Crop Yields Under Conservation Agriculture. *European Journal of Agronomy.* Vol. 33, 2010, pp. 231-241.

Efectividad de aislados nativos de *Beauveria* y *Metarhizium* de Arteaga, Coahuila, en el control del gusano telarañero *Hyphantria cunea* Drury

Effectiveness of native *Beauveria* and *Metarhizium* isolates from Arteaga, Coahuila in the control of the spider webworm *Hyphantria cunea* Drury

Alejandro de la Cruz-Armas¹, Luis Alberto Aguirre-Uribe,^{1*}
Víctor Manuel Sánchez-Valdés¹, Ernesto Cerna-Chávez, Oswaldo García-Martínez¹,
Yolanda Isabel Hernández-Hernández¹

¹Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. e-mail luisaguirreu@yahoo.com.mx (*Autor responsable).

RESUMEN

Los hongos entomopatógenos son un amplio grupo de microorganismos que proveen múltiples servicios a los sistemas agroecológicos, entre los que está la capacidad de regular las plagas para mantenerlas en niveles adecuados. Por las condiciones ambientales extremas que prevalecen en buena parte del año, en la región norte del país existen pocos estudios sobre aislados nativos de estos agentes de control. En la presente investigación se describe la efectividad de los hongos *Beauveria* y *Metarhizium* como aislados naturales sobre el gusano telarañero *Hyphantria cunea* Drury, y se pretende como objetivo aislar e identificar cepas de estos géneros de la sierra manzanera de Arteaga, Coahuila, para determinar su efectividad bajo condiciones controladas. Después de realizar el trabajo, los resultados indicaron que el mayor efecto sobre la *H. cunea* lo presentaron las cepas de *Beauveria*, ya que llegaron a alcanzar 100% de mortalidad en seis días después de la aplicación a una concentración de 1×10^7 Unidades Formadoras de Colonia (UFC), en contraste con 72% que se obtuvo con la mejor cepa de *Metarhizium* a esta misma concentración, aunque en un periodo de ocho días. Con tales resultados, se concluyó que *Beauveria*, como formulado, pudiera ser considerada como principal agente de control biológico sobre esta plaga de importancia en diversos cultivos como el manzano y nogal.

Palabras clave: control biológico, Unidades Formadoras de Colonia, cepas, agente

ABSTRACT

Entomopathogenic fungi are a broad group of microorganisms that provide multiple services to agroecological systems. Among these services there is the ability to regulate pests to keep them at appropriate levels. In the northern region of the country there are few studies on native isolates of these control agents due to extreme environmental conditions prevailing in most of the year. The present research describes the effectiveness of the *Beauveria* and *Metarhizium* fungi as natural isolates on the webworm *Hyphantria cunea* Drury. The aim of this study is to isolate and identify strains of these genera from the Arteaga range apple orchard in Coahuila, Mexico, and determine their effectiveness under controlled conditions. The results indicate that the greatest effect on *H. cunea* was presented by *Beauveria* strains reaching 100% mortality six days after application of a concentration of 1×10^7 Colony Forming Units (CFU), in contrast to 72% obtained by the best strain of *Metarhizium* at the same concentration, although in a period of eight days. It is concluded that *Beauveria* as formulated could be considered as the main biological control agent on this pest of importance in various crops such as apple and walnut.

Key words: biological control, Colony Forming Units, strains, agent

INTRODUCCIÓN

El empleo de microorganismos como agentes de control presenta numerosas ventajas: seguridad para la salud humana y para la fauna útil, reducción de la presencia de residuos insecticidas en los alimentos e incremento de la biodiversidad del medio. Los hongos son únicos y sobresalientes entre los entomopatógenos porque infectan a los hospedantes a través del tegumento, acción por contacto, lo que les confiere ventaja para el control de varios grupos de insectos fitófagos de gran relevancia en la agricultura (Telles *et al.*, 2009).

La efectividad que han mostrado los hongos entomopatógenos resulta una alternativa importante del control biológico, ya que poseen características muy especiales que les permiten sobrevivir en forma parasítica sobre los insectos, y sobre material vegetal en descomposición en forma saprofita. La tendencia actual en México es utilizarlos con mayor frecuencia en la agricultura orgánica y muy poco como parte del Manejo Integrado de Plagas (MIP).

En el mundo se han registrado, aproximadamente, 700 especies de hongos entomopatógenos, de las cuales sólo nueve tienen interés comercial por la facilidad con que producen las esporas, y con la que se pueden formular como biopesticidas (Morales, *et al.*, 2009). Para López y Hans (2001), entre los géneros más importantes están: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Aschersonia*, *Entomophthora*, *Zoophthora*, *Erynia*, *Eryniopsis*, *Akanthomyces*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Paecilomyces* y *Verticillium*, mientras que para la FAO (2003), los géneros de importancia son: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Rhizopus* y *Fusarium*.

Respecto al cultivo del manzano, los insectos que producen mayores daños son: la palomilla del manzano, pulgón lanígero y arañita roja. Estas plagas pueden considerarse como claves, ya que se encuentran de forma permanente y persistente en este cultivo, mientras que el resto, como los áfidos, los perforadores y el gusano telarañero se consideran ocasionales, ya que producen daños importantes en ciertas épocas, y en muchas ocasiones no pueden dominarse con las prácticas de control (Murray y Alston, 2014).

Un empleo más eficiente y generalizado de estos agentes en el control depende, en gran medida, de mejorar su velocidad de acción y de reducir los tiempos letales. Por este motivo la presente investigación buscó determinar la efectividad de hongos entomo-

patógenos nativos de la zona manzanera de Arteaga sobre el gusano telarañero *Hyphantria cunea*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener los hongos entomopatógenos primero se realizó un muestreo en diferentes localidades de la zona manzanera de Arteaga, Coahuila. Los puntos de referencia que se muestrearon se ubican en los ejidos siguientes: San Antonio de las Alazanas (25°16'02.30''N 100°34'40.05''O), Huachichil (25°12'56.50''N 100°49'42.87''O) y Los Lirios (25°23'38.13''N 100°33'35.51''O).

Para realizar la investigación, las muestras de suelo se obtuvieron a partir de la selección de una hectárea de cultivo de manzano representativa, con poco laboreo (mínimas o nulas aplicaciones químicas) y con registros de infecciones por hongos entomopatógenos sobre insectos plaga. Los muestreos se realizaron de junio de 2015 a mayo del 2016. Una vez que se obtuvieron las muestras, se trasladaron al Departamento de Parasitología de la UAAAN, en Buenavista, Saltillo, para su procesamiento.

Se seleccionaron cinco puntos al azar en los que se colectaron 10 submuestras, de 10 cm³ de suelo cada una. El material se colocó en bolsas y se homogeneizó en una muestra única, que se trasladó al laboratorio en una bolsa negra, esto para cada localidad (Sun, 2002).

El aislamiento se realizó mediante la técnica de insecto trampa descrita por Quesada y *et al.* (2007) con algunas modificaciones, como colocar en frascos de plástico de 100 gr de suelo cinco larvas de *Galleria mellonella* Linnaeus y cinco de *Tenebrio molitor* Linnaeus, por separado para cada muestra.

Las muestras se revisaron a diario, durante cinco días, hasta observar un cambio de apariencia en el insecto que indicara alguna infección, luego se separaron y se les proporcionaron las condiciones adecuadas para favorecer el crecimiento del hongo. El micelio que colonizó el insecto se aisló en medios nutritivos: Papa Dextrosa Agar (PDA) y Agar Dextrosa Sabouraud hasta obtener cultivos puros para su posterior identificación.

Una vez purificados los hongos, se reprodujeron en caldo de papa (concentrado líquido de papa a punto de ebullición, extracto de levadura, Mg SO₄·7H₂O y KCl), el cual se inoculó por separado en cada una de las cepas. Posteriormente se indujo el crecimiento sobre una incubadora con agitación

(VWR) a 150 revoluciones/min, a temperatura ambiente por cinco días.

Con la finalidad de conocer la producción de esporas para cada cepa en medio líquido y realizar los cálculos para ajustar las concentraciones, se realizó el conteo con ayuda de un hemocitómetro (Propper). La viabilidad se determinó partiendo de una solución madre ajustada a 1×10^8 Unidades Formadoras de Colonia (UFC) a la que se le realizaron diluciones exponenciales para facilitar el conteo de esporas en la placa, que posteriormente se inocularon en medio nutritivo con 100 μ l por cada concentración. El resultado se obtuvo a las 48 horas, mediante la fórmula:

$$\text{Viabilidad} = \frac{(\Sigma \text{ colonias}) (\text{fact. Dilución})}{\text{volumen inoculado}}$$

A partir del resultado del conteo y viabilidad, se seleccionaron las seis mejores cepas para evaluar la efectividad biológica.

La identificación del total de hongos aislados se realizó mediante la detección de sus características morfológicas (conidióforo, esporas, hifas, blastosporas) vistas a través de un microscopio compuesto, de acuerdo a las claves taxonómicas descritas por Alves *et al.*, 1998 y Samson *et al.*, 1988.

Para determinar la acción de control para cada uno de los hongos seleccionados con buena viabilidad se utilizó al gusano telarañero *Hyphantria cunea* –el cual se considera plaga importante del manzano y el nogal– y sus larvas se recolectaron de árboles de nogal en su cuarto estadio, que posteriormente se desinfectaron con hipoclorito a 5%. La técnica que se utilizó para esta evaluación fue la de inmersión descrita por González (1993), que consiste en sumergir la larva por 10 segundos en la concentración de esporas del hongo, para luego retirarle el exceso de líquido y colocarla en placas Petri con discos de papel de estraza. Cada unidad experimental estuvo conformada por cinco larvas impregnadas por las diversas concentraciones del hongo por separado y fueron colocadas en una placa Petri estéril, en tanto que el testigo consistió en impregnar el mismo número de larvas con agua destilada, con tween a 0.05%, bajo condiciones de temperatura ambiente. La variable a obtener fue la mortalidad representada en porcentajes, que se determinó cuando la larva no presentaba ningún movimiento al ser estimulada con una aguja de disección, sin llegar a dañarla. Las evaluaciones se realizaron cada 24 horas, durante ocho días.

Con base en la respuesta mostrada por las diferentes cepas, se seleccionó a la mejor de *Beauveria* y

Metarhizium, con la finalidad de determinar su respuesta en conjunto, que luego se etiquetaron, para fines prácticos, como Mix; la respuesta se confrontó con la que se obtuvo con un producto comercial a base de hongos entomopatógenos Entomaxx 5x de la empresa Green Corp, que se evaluó bajo las mismas condiciones.

El bioensayo se realizó bajo un modelo de diseño completamente al azar. La mortalidad en el testigo se utilizó para corregir el resto de las mortalidades registradas mediante la fórmula de Abbott 1925, para determinar si la mortalidad de los insectos tratados se puede atribuir a la aplicación de los hongos. Los datos de la mortalidad de los bioensayos se obtuvieron utilizando el modelo Probit con el programa estadístico "R" (versión 3.2). Se estimaron los tiempos letales TL_{50} y TL_{95} , además de las concentraciones letales CL_{50} y CL_{95} , con sus límites de confianza a 95% para cada de hongo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aislados de hongos entomopatógenos que se obtuvieron corresponden a los géneros de *Beauveria* sp. y *Metarhizium* sp., este último con mayor presencia en las tres localidades muestreadas.

Para el género *Beauveria* se observó el típico moho blanquecino (reverso rojizo) y algodonoso en medio nutritivo y sobre el insecto trampa; microscópicamente se observaron células conidiogenas muy abundantes con grupos densos ensanchados en la parte basal, con terminación en zig-zag, además de las esporas hialinas, pequeñas y globosas, en ocasiones elipsoidales, con un pequeño ápice.

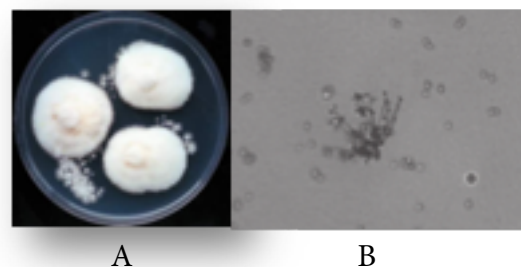
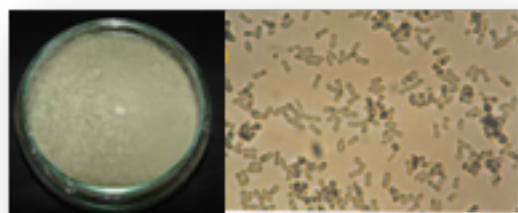


Figura 1. A: Micelio de *Beauveria* en medio nutritivo (PDA), B: Conidióforo y esporas.

Las características macroscópicas que se observaron del *Metarhizium* fueron: el crecimiento de micelio polvoso verde o blanquecino en el medio nutritivo y sobre el insecto trampa; las microscópicas: los típicos conidióforos ramificados en escobilla con 2 a

3 verticilos, esporas cilíndricas a elipsoidales subhialinas ligeramente verdes.



A B

Figura 2. A: Micelio de *Metarhizium* en medio nutritivo (PDA), B: Esporas.

De un total de 36 muestras de suelo procesadas, 13 dieron positivo para la presencia de hongos entomopatógenos en los insectos trampa, de las cuales cuatro correspondieron al género *Beauveria* y nueve al *Metarhizium* (Cuadro 1).

Las condiciones ambientales, como temperatura y humedad, que se presentan entre primavera y verano favorecen el desarrollo de microorganismos (Cañedo y Ames, 2004); en esta investigación fue evidente, ya que durante los meses de abril a agosto se aisló a la mayoría de hongos.

Las cepas de *Beauveria* de la localidad de Huachichil (Bb. Hua. 1) resultaron mejor en conteo y via-

bilidad, según se puede observar en la Cuadro 2, ya que llegaron a alcanzar hasta 1.4×10^7 UFC en medio nutritivo.

Cuadro 2. Conteo y viabilidad para cepas aisladas.

#	Cepa	Conteo	Viabilidad
①	Bb. Lir 1	2.6×10^8	1.2×10^7
2	Bb. Lir 2	1.8×10^8	8.5×10^6
3	Ma. Lir 1	1.1×10^8	1.2×10^6
④	Ma. Lir 2	1.7×10^8	5.8×10^6
5	Ma. Lir 3	1.2×10^8	2.7×10^6
⑥	Bb. SaA 1	2.2×10^8	1.1×10^7
7	Ma. SaA 1	1.2×10^8	4.6×10^6
⑧	Ma. SaA 2	1.7×10^8	6.3×10^6
9	Ma. SaA 3	1.3×10^8	2.9×10^6
⑩	Bb. Hua 1	2.5×10^8	1.4×10^7
11	Ma. Hua 1	1.1×10^8	4.1×10^6
⑫	Ma. Hua 2	1.8×10^8	7.9×10^6
13	Ma. Hua 3	1.4×10^8	3.7×10^6

○ Cepas con mayor viabilidad.

Cuadro 1. Géneros de hongos identificados por localidad.

#	Cepa	Hongo	Localidad	Mes	Huésped
1	Bb. Lir 1	<i>Beauveria spp.</i>	Los Lirios	Julio	Galleria
2	Bb. Lir 2	<i>Beauveria spp.</i>	Los Lirios	Abril	Galleria
3	Ma. Lir 1	<i>Metarhizium spp.</i>	Los Lirios	Septiembre	Tenebrio
4	Ma. Lir 2	<i>Metarhizium spp.</i>	Los Lirios	Agosto	Tenebrio
5	Ma. Lir 3	<i>Metarhizium spp.</i>	Los Lirios	Mayo	Tenebrio
6	Bb. SaA 1	<i>Beauveria spp.</i>	San Antonio de las Alazanas	Junio	Galleria
7	Ma. SaA 1	<i>Metarhizium spp.</i>	San Antonio de las Alazanas	Abril	Tenebrio
8	Ma. SaA 2	<i>Metarhizium spp.</i>	San Antonio de las Alazanas	Mayo	Galleria
9	Ma. SaA 3	<i>Metarhizium spp.</i>	San Antonio de las Alazanas	Octubre	Tenebrio
10	Bb. Hua 1	<i>Beauveria spp.</i>	Huachichil	Junio	Galleria
11	Ma. Hua 1	<i>Metarhizium spp.</i>	Huachichil	Septiembre	Tenebrio
12	Ma. Hua 2	<i>Metarhizium spp.</i>	Huachichil	Agosto	Tenebrio
13	Ma. Hua 3	<i>Metarhizium spp.</i>	Huachichil	Noviembre	Tenebrio

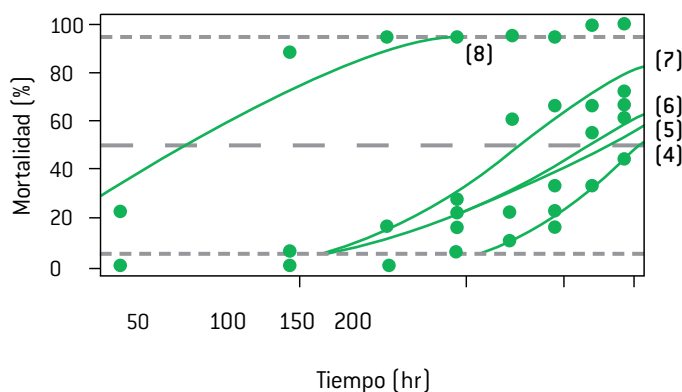
Para mostrar los mejores resultados en viabilidad y determinar su efectividad y caracterización molecular, de esta prueba se seleccionaron tres cepas de *Beauveria*: Bb. Hua. 1, Bb. Ll. 1 y Bb. SaA.1 y tres de *Metarhizium*: Ma. Hua. 2, Ma. Ll. 2 y Ma. SaA. 2.

Con base en el análisis estadístico desarrollado, la respuesta de hongos aislados sobre *Hyphantria cunea* en tiempo letal: 05, 50 y 95%, resultó altamente significativa entre concentraciones y cepas.

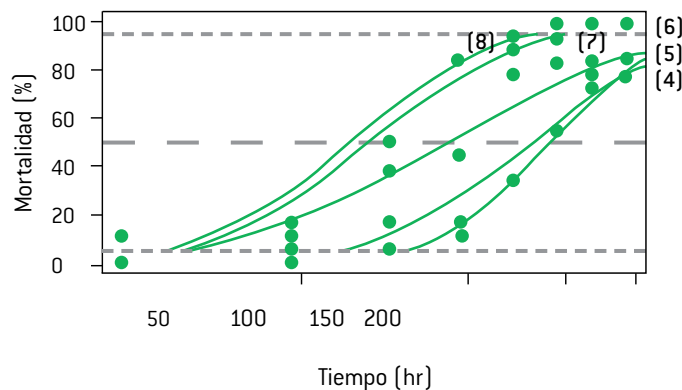
Tiempos letales

Beauveria - Los Lirios (Bb. Ll. 1)

La efectividad mostrada por esta cepa fue contundente a la concentración 1×10^8 UFC, en comparación con el resto de agentes de control, como se muestra en el Cuadro 3, aunque existe un marcado desbalance con las concentraciones menores de hasta 173 horas, según se refleja en la regresión Probit de la Gráfica 1.



Gráfica 1. Regresión Probit para Bb. Ll. 1.



Gráfica 2. Regresión Probit para Bb. Hua. 1

Beauveria - Huachichil (Bb. Hua. 1)

La mayor estabilidad en tiempo de respuesta de los hongos evaluados fue para esta cepa de *Beauveria*, al presentar diferencia entre concentración mayor y menor de sólo 78 horas, según lo muestra el Cuadro 4, lo cual indica que en campo tendría buenos resultados a concentraciones menores.

Beauveria - San Antonio de las Alazanas (Bb. SaA. 1)

El mecanismo de acción de esta cepa sobre *Hyphantria* fue evidente en las dos concentraciones mayores al llegar a alcanzar el TL_{50} antes de las 80 horas, como se muestran en la Gráfica 3, comparado con la dilución siguiente (1×10^6) que requiere más del doble de horas (Cuadro 5).

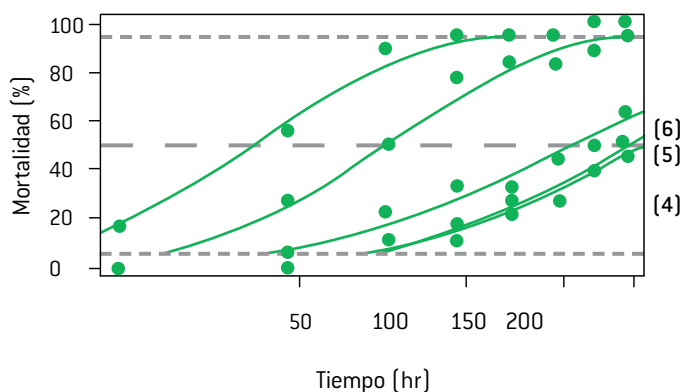
Zibae *et al.* (2013) obtuvieron 90% de mortalidad a los 11 días para *B. bassiana* sobre el gusano telarañero, comparado con el TL_{95} en 151.82 horas, obtenido por la cepa Bb. Hua 1.

Cuadro 3. Tiempo letal medio y P valor para Bb. Ll.

Concentración	TL_{50} (Hr)	P valor
1×10^8 UFC (8)	31.7749	2.080141e-07
1×10^7 UFC (7)	124.4478	6.612895e-13
1×10^6 UFC (6)	166.7255	1.029202e-10
1×10^5 UFC (5)	179.4419	3.804854e-07
1×10^4 UFC (4)	204.6441	9.170487e-32

Cuadro 4. Tiempo letal medio y P valor para Bb.

Concentración	TL_{50} (Hr)	P valor
1×10^8 UFC (8)	61.66274	1.130225e-08
1×10^7 UFC (7)	67.22976	1.716406e-07
1×10^6 UFC (6)	91.73959	1.261288e-06
1×10^5 UFC (5)	129.8062	1.302042e-12
1×10^4 UFC (4)	139.9231	3.947305e-59



Gráfica 3. Regresión Probit para Bb. SaA. 1

Cuadro 5. Tiempo letal medio y P valor para Bb. SaA.		
Concentración	TL ₅₀ (Hr)	P valor
1x10 ⁸ UFC (8)	41.80789	1.525376e-23
1x10 ⁷ UFC (7)	71.83279	4.41672e-24
1x10 ⁶ UFC (6)	156.5529	3.2651e-23
1x10 ⁵ UFC (5)	197.0537	2.430991e-1
1x10 ⁴ UFC (4)	209.382	1.600157e-16

Tiempos letales

Metarhizium – Huachichil (Ma. Hua. 2)

Respecto a las cepas de *Metarhizium*, la más estable fue la perteneciente a esta localidad, ya que tuvo menos diferencia en horas entre concentración mayor y menor, según se observa en la Cuadro 6.

Metarhizium – Los Lirios (Ma. Ll. 2)

El tiempo de acción para esta cepa fue claramente contrastante con un TL₅₀ para la concentración mayor de sólo 67 horas; las concentraciones menores rondaron hasta 200 horas para ejercer un control sobre 50% de la población, como se muestra en la regresión Probit de la Gráfica 5.

Metarhizium – San Antonio de las Alazanas (Ma. SaA. 2)

Del total de hongos evaluados, esta cepa fue la que requirió mayor tiempo para ejercer acción sobre el gusano telarañero, ya que fueron necesarias casi 100 horas a 1x10⁸ UFC para obtener el TL₅₀ (Cuadro 8); respecto a la regresión Probit de la Gráfica 6, se observa que después de las 200 horas, el efecto es muy similar en concentraciones menores.

El aislado de *Metarhizium*, que presentó rápida acción sobre *Hyphantria*, fue Ma. Hua. 2, perteneciente a la localidad de Huachichil, con un TL₅₀ de 134.88 horas, comparado con el 78.33% a 1x10⁷ UFC, en 12 días, sobre el gusano telarañero, según reportaron Saruhan y Tuncer en 2016.

De esta prueba se pudo conformar una mezcla entre la cepa de cada género que presentó mejor tiempo letal, para lo cual se seleccionó a la cepa de *Beauveria* Bb. Hua. 1 y la Ma. Hua. 2 de *Metarhizium*, ambas de la localidad de Los Lirios. Para fines prácticos se le nombro a este consorcio como Mix, con la finalidad de evaluar la respuesta de estos hongos en asociación.

Tiempos letales

Mix y Entomaxx 5x

La acción de los hongos en consorcio (Mix) resultó menos eficiente que por separado, ya que fue necesario mayor tiempo para obtener el TL₅₀, comparado con los porcentajes mostrados por *Beauveria*. Sin embargo, el valor de P muestra diferencia significativa entre concentraciones (Cuadro 9) para este Mix.

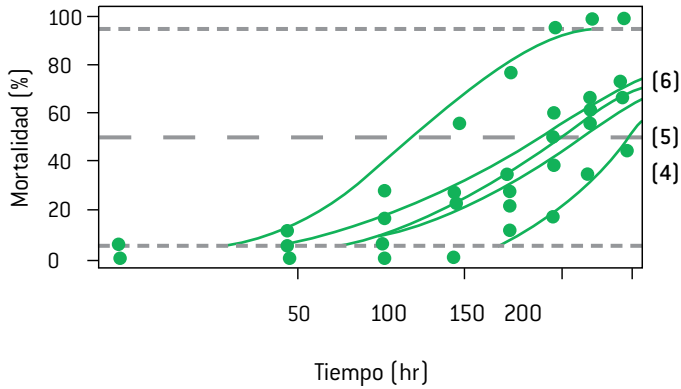
La regresión Probit para Entomaxx 5X (producto comercial) muestra efecto rápido en concentración directa (Gráfica 8); y a menor concentración, el efecto disminuye considerablemente por ello necesita más de 200 horas (Cuadro 10), esto es, cualquiera de las cepas aisladas podrían funcionar mejor en campo, a concentraciones bajas.

En general, las cepas de *Beauveria* fueron más eficaces en concentraciones bajas para el control de *H. cunea*, las cuales estuvieron por arriba de 44% de efectividad, lo que resulta más evidente si se compara con lo ejercido por el producto comercial, que no pasó de 30% en la concentración de 1x10⁷ UFC, como se muestra en la Cuadro 11.

La cepa de *Beauveria* Bb. Hua 1 fue la única que alcanzó la mortalidad de 100%, a una concentración de 1x10⁷ UFC, a diferencia de 76% reportado como máxima por Zibae *et al.*, a la misma concentración de este hongo.

Mediante el valor de P arrojado por el programa estadístico, se puede deducir que hay diferencia significativa entre agentes de control, aunque existieron datos que no se pudieron analizar correctamente con el producto Entomaxx 5x, debido al contraste entre la concentración mayor y menor (Cuadro 12).

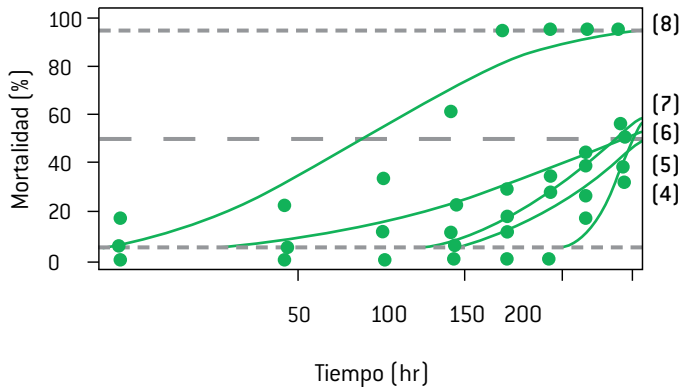
La regresión Probit (Gráfica 9) de las concentraciones letales ubica a la mayoría de los agentes dentro del intervalo 1x10⁵ UFC para la CL₅₀, los que se salieron de este contexto son: la cepa Bb. Hua. 1, que pre-



Gráfica 4. Regresión Probit para Ma. Hua. 2

Cuadro 6. Tiempo letal medio y P valor para Ma. Hua. 2.

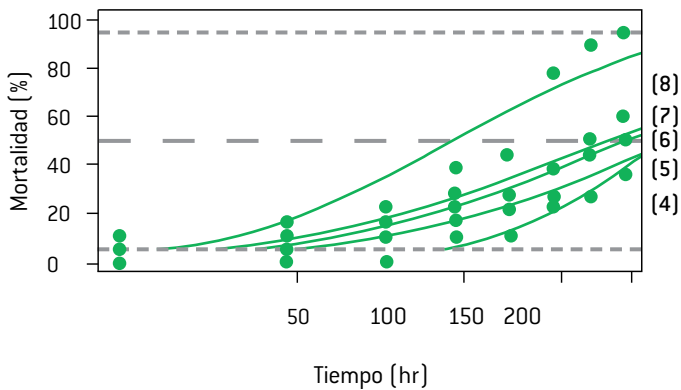
Concentración	TL ₅₀ (Hr)	P valor
1x10 ⁸ UFC (8)	80.77873	2.991401e-08
1x10 ⁷ UFC (7)	134.8862	7.267613e-13
1x10 ⁶ UFC (6)	148.358	1.861863e-29
1x10 ⁵ UFC (5)	161.7794	2.763938e-15
1x10 ⁴ UFC (4)	197.4271	7.259472e-18



Gráfica 5. Regresión Probit para Ma. LI. 2

Cuadro 7. Tiempo letal medio y P valor para Ma. LI.

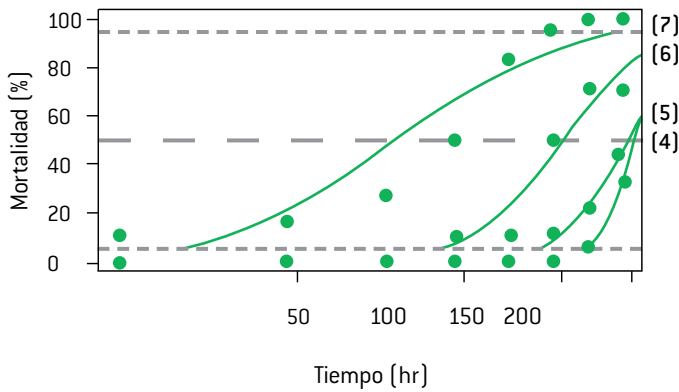
Concentración	TL ₅₀ (Hr)	P valor
1x10 ⁸ UFC (8)	67.05361	7.475041e-07
1x10 ⁷ UFC (7)	203.4199	5.463524e-12
1x10 ⁶ UFC (6)	189.7866	1.421914e-21
1x10 ⁵ UFC (5)	202.8936	1.205255e-16
1x10 ⁴ UFC (4)	212.8795	8.129672e-11



Gráfica 6. Regresión Probit para Ma. SaA. 2

Cuadro 8. Tiempo letal medio y P valor para Ma.

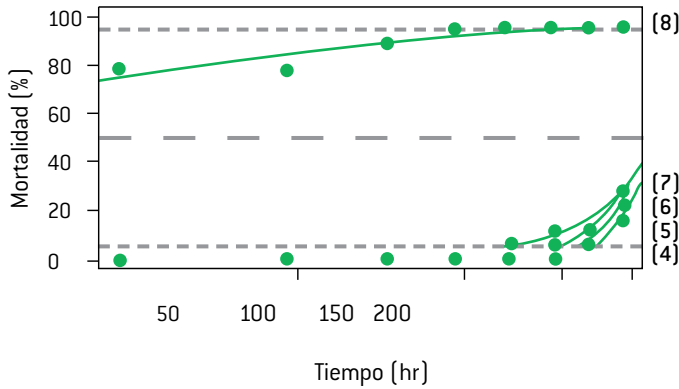
Concentración	TL ₅₀ (Hr)	P valor
1x10 ⁸ UFC (8)	95.52101	1.055084e-05
1x10 ⁷ UFC (7)	180.027	2.862943e-11
1x10 ⁶ UFC (6)	193.756	2.068094e-23
1x10 ⁵ UFC (5)	224.184	5.498319e-10
1x10 ⁴ UFC (4)	239.3192	3.711969e-12



Gráfica 7. Regresión Probit para Mix

Cuadro 9. Tiempo letal medio y P valor para Mix.

Concentración	TL ₅₀ (Hr)	P valor
1x10 ⁸ UFC (8)	75.50788	1.495169e-14
1x10 ⁷ UFC (7)	116.5698	2.674757e-21
1x10 ⁶ UFC (6)	150.9311	2.960425e-12
1x10 ⁵ UFC (5)	197.1854	1.313171e-44
1x10 ⁴ UFC (4)	201.1833	1.019753e-05



Gráfica 8. Regresión Probit para Entomaxx 5x

Cuadro 10. Tiempo letal medio y P valor para Entomaxx.

Concentración	TL ₅₀ (Hr)	P valor
1x10 ⁸ UFC (8)	6.288577	5.565288e-09
1x10 ⁷ UFC (7)	217.4781	1.077066e-09
1x10 ⁶ UFC (6)	221.7467	4.024388e-22
1x10 ⁵ UFC (5)	224.903	7.800924e-10
1x10 ⁴ UFC (4)	250.4768	6.220473e-19

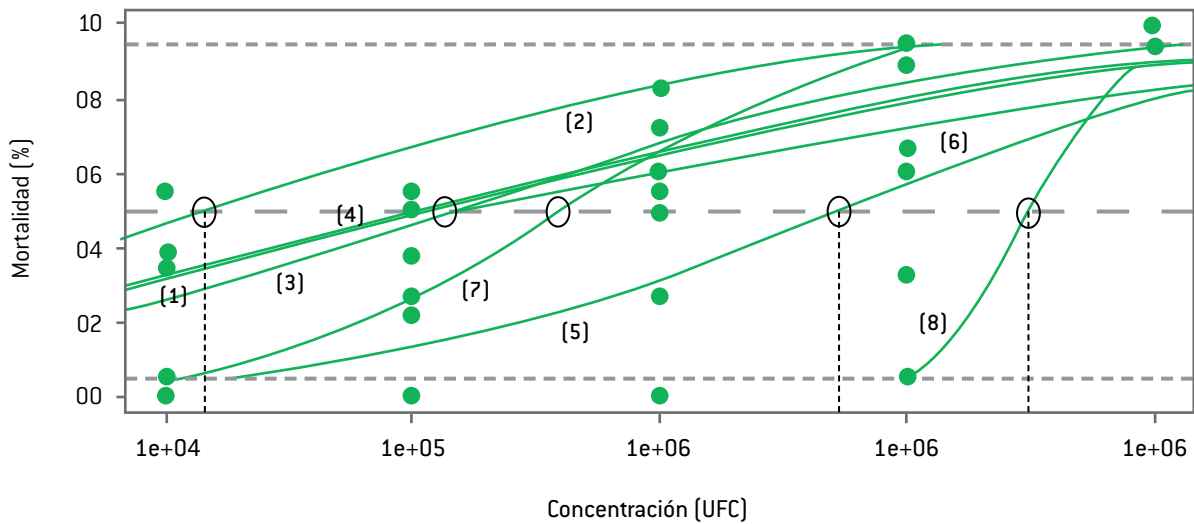
Cuadro 11. Porcentajes de mortandad por agente a los ocho días.

Concentración	Bb.LI.1	Bb.Hua.1	Bb.SaA.1	Ma.Hua.2	Ma.Li.2	Ma.SaA.2	MIX	Entomaxx 5X
1x10 ⁴	44.44	77.77	44.44	44.44	33.33	38.88	33.33	16.66
1x10 ⁵	61.11	83.33	50	66.67	38.88	50	44.44	22.22
1x10 ⁶	66.66	83.33	61.11	66.67	50	50	72.22	27.77
1x10 ⁷	72.22	100	94.44	72.22	55.55	61.11	88.88	27.77
1x10 ⁸	100	100	100	100	94.44	94.44	100	94.44

Cuadro 12. Concentraciones letales y P valor analizados con el programa “R” estadístico.

Trat	CL50	LCL	UCL	CL05	CL95	P valor	Hr
Bb.LI.1	134924.6	451.697	1366864	21.7554	836787802	0.00716373	168
Bb.Hua.1	14924.59	1044.37	57705.24	14.4868	15375614	1.077202e-05	144
Bb.SaA.1	144800.7	4921.042	953264.6	161.6141	129736410	0.001709929	168
Ma.Hua.2	114842.5	686.4481	991087.6	20.52927	642438348	0.00470008	168
Ma.LI.2	5245967	466345.7	437152368	17022.41	1616702408	0.008656967	144
Ma.SaA.2	177523.1	944.2841	1798051	22.724434	11567344795	0.005685304	192
MIX	407928.6	250670.3	657941	10509.45	15833916	9.303296e-22	168
Entomax-5X	31622985	31573533	31672514	9634011	103800289	0.0	120

Trat.: Tratamiento, **CL:** Concentración Letal, **LCL:** Límite fiducial inferior, **UCL:** Límite fiducial superior, **P valor:** Valor de significancia, **Hr:** Tiempo en horas donde cada cepa obtuvo el 100% de mortalidad



Gráfica 9. Regresión Probit para agentes de biocontrol en concentraciones letales. **[1]** Bb.LI.1, **[2]** Bb.Hua.1, **[3]** Bb.SaA.1, **[4]** Ma.Hua.2, **[5]** Ma.LI.2, **[6]** Ma.SaA.2, **[7]** MIX, **[8]** Entomax-5X.



Figura 3. Larvas de *Hyphantria* a concentraciones de 1×10^8 UFC **A:** Bb. Hua 1, **B:** Mix, **C:** Entomaxx 5X y **D:** Testigo.

sentó los mejores resultados con un CL_{50} a 1.4×10^4 UFC, el caso del mix y el producto comercial, que presentaron los menores porcentajes de mortalidad entre concentraciones.

Bajo condiciones controladas, el efecto de los hongos entomopatógenos es rápido y estable y no presenta afectaciones en su virulencia a causa de condiciones adversas. Según Giraldo, en campo son de acción lenta, dependiendo generalmente de las condiciones ambientales de temperatura y de elevada humedad relativa para que su desarrollo y acción patógena sea la adecuada.

Generalmente tardan una semana, como mínimo, para eliminar a la víctima o, al menos, para que deje de alimentarse. En esta investigación tardaron, aproximadamente, tres días en dejar de alimentarse.

Como se puede observar en la figura 4, la cepa de *Beauveria* presentó un completo micosado sobre la larva, lo mismo que para el Mix. Con el producto Entomaxx 5X la mortalidad fue rápida y efectiva en la concentración mayor, aunque en los insectos no se observó crecimiento de hongo en ninguna de las concentraciones.

CONCLUSIONES

La mayor cantidad de aislados se presentó en la localidad de Los Lirios. Respecto a esta localidad resalta la cercanía de la huerta muestreada con la sierra de Arteaga, por lo que se presume que las condiciones ambientales: humedad alta y materia orgánica favorecieron la proliferación de microorganismos.

Los mejores resultados en Tiempo y Concentración Letal para *Beauveria* (Bb. Hua. 1) y *Metarhizium* (Ma. Hua. 2) fueron las cepas pertenecientes a la localidad de Huachichil, por lo que queda como referencia para posteriores aislamientos de organismos benéficos.

La efectividad mostrada por las cepas del género *Beauveria* reflejan la mayor susceptibilidad de *Hyphantria cunea* a este organismo, lo que resultaría como una importante alternativa de control en campo.

LITERATURA CITADA

- ABBOTT, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. of Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- ALVES, S. B., Ferraz, L. C. C. B. y Castello Branco Jr., A. (1998b) Chaves para identificação de patógenos de insetos, in S. B. Alves (ed) Controle Microbiano de Insetos, 2nd edition, FEALQ, Piracicaba Brazil.
- CAÑEDO V., Ames T. 2004. Manual de Laboratorio para el Manejo de Hongos Entomopatógenos. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. pp 62.
- FAO. 2003. Resistencia a los antiparasitarios: estado actual con énfasis en América Latina. Roma: Dirección de Producción y Sanidad Animal de la FAO, p. 33-35.
- GIRALDO J. 2009. Uso de hongos entomopatógenos en el control de ectoparásitos. Universidad del Tolima. Artículo de divulgación, Revista Ganadero. Tolima, Colombia. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/sanidad/articulos/uso-hongos-entomopatogenos-controlt2540/p0.htm>
- LÓPEZ, V. Hans, J. 2001. Biodiversidad del suelo: control biológico de nematodos fitopatógenos por hongos nematófagos. Cuaderno de Biodiversidad, v. 3, n. 6, p. 12 – 15, 2001. Disponible en: <http://www.ua.es/es/informacion/biodiversidad/cuadbiod06.pdf>.
- MORALES, V., Garay, B., Romero, A., Sánchez, J. 2009. Insecticidas biológicos en el control de insectos plaga: agrícolas, forestales, de almacén y urbanas en México. Artículo científico. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- MURRAY, A. Alston, D. 2014. Plagas frutales: manzana. Entomologista de Extensión. Universidad Estatal de Utah y Laboratorio de Diagnóstico de Plagas de Utah. Utah pest. IPM-006-11.
- QUESADA E., Navas J.A., Maranhao E.A., Ortiz A., Santiago C. 2007. Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural.
- SARUHAN, I. Tuncer, C. 2016. Efficacy of *Metarhizium anisopliae* and Some Entomopathogenic Fungi on Larvae of Fall Webworm, *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae). University of Ondokuz Mayıs, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, 55139, Samsun, Turkey. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2016; 4(5): 171-176.
- SAMSON, R. A., Evans, H. C. y Latgé, J. P. (1988) Atlas for Entomopathogenic Fungi, Springer-Verlag, New York.
- SUN, J. 2002. Screening and Characterization of Pathogenic Fungi for Possible Control of *Coptotermes formosanus*. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the
- TÉLLEZ, A. Cruz, R. Flores, M. Asaff, T. Aranacuenca, A. 2009. Mecanismos de acción y respuesta

en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. *Revista Mexicana de Micología*, v. 30, p. 73-80.

ZIBAEE, I, Bandani, A. Sendi, J. 2013. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* to Fall Webworm (*Hyphan-*

tria cunea) (Lepidoptera: Arctiidae) on Different Host Plants. University of Tehran, Karaj, Iran; Department of Plant Protection, College of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran. *Plant Protect. Sci.*, 49: 169-176.

Una alimentación adecuada mejora la conducta sexual de los machos cabríos multirraciales jóvenes tratados con testosterona en el subtrópico mexicano

Good nutrition improves sexual behavior in mixed-breed young bucks treated with testosterone in subtropical Mexico

A.G. López-Jara¹, M.G. Machado-Ramos¹, J.J. Benítez-Rivas¹, O. Ángel-García¹, L.I. Vélez-Monroy², A.U. Chávez-Solís², M.A. de Santiago-Miramontes¹

¹Posgrado de Producción Agropecuaria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Sta. Fe s/n 27054, Torreón, Coah. México. angelesdesantiago867@gmail.com (*Autor responsable).
²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias, Centro Norte. Blvd. José Santos Valdez 1200, Centro, 27440, Matamoros, Coah.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar, en el subtrópico mexicano (26° N), el efecto del nivel de alimentación en machos cabríos jóvenes tratados con testosterona exógena sobre las conductas sexuales de búsqueda y de consumación a contra-estación (febrero-marzo). Se utilizaron 16 machos cabríos multirraciales de un año de edad (n=4/grupo) similares en peso y condición corporal, que fueron sometidos a dos niveles de alimentación durante 77 días y a un tratamiento con testosterona exógena: dos grupos con alimentación completa (n = 4/gpo) recibieron una dieta suficiente para sus necesidades metabólicas y de desarrollo: 0.3 kg/0.43 MCal de alfalfa, 0.2 kg/0.24 MCal de rastrojo de maíz, 0.3 kg/0.16 MCal de zacate Rye grass, 0.08 kg/0.99 MCal de melaza de caña y 0.3 kg/0.75 MCal de concentrado comercial (18% PC), y dos grupos que recibieron una dieta insuficiente para sus necesidades metabólicas y de desarrollo: 0.15 kg /0.17 Mcal de alfalfa, 0.2 kg/0.24 MCal de rastrojo de maíz, 0.15 kg /0.08MCal de zacate Rye grass y 0.12 kg/0.49 Mcal de melaza de caña/ animal/ día. A dos grupos (n = 4/gpo) se les administró 25 mg (1 ml) de testosterona IM cada tercer día por tres semanas, y los dos grupos restantes recibieron 1 ml de solución salina IM. El grupo de machos tratados con testosterona exógena y con dieta completa manifestaron un mayor porcentaje (P<0.05) de comportamientos de búsqueda y consumación, en comparación con los demás, por lo que se concluyó que la administración de testosterona en machos jóvenes con una alimentación completa promueve el despliegue de conductas sexuales de búsqueda y consumación que inducen la actividad sexual de cabras anovulatorias en el subtrópico mexicano.

Palabras clave: alimentación, cabras, tratamientos hormonales, condición corporal

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of feeding level on male goats treated with exogenous testosterone on sexual, search and consumation conducts in non-breeding season, in mexican subtropics (26°N). The study included 16 multiracial male goats 1 year of age (n = 4 / group) similar on weight (33.3 kg ± 1.4 kg) and body condition (1.67 ± 0.07). These males were submitted to two feeding levels and treatment with exogenous testosterone. Groups DCT & DCC received a sufficient diet for their needs: 0.3 kg /0.43 MCal of alfalfa, 0.2 kg/0.24 MCal of corn stubble 0.3 kg/0.16 MCal of Rye grass, 0.08 kg/0.99 MCal of molasses and 0.3 kg/0.75 MCal of commercial concentrate (18% PC). Groups DBT & DBC received an insufficient diet: 0.15 kg/0.17 Mcal of alfalfa, 0.2 kg/0.24 MCal of corn stubble, 0.15 kg/0.08MCal of Rye grass and 0.12 kg/0.49 Mcal of molasses/animal/day. Groups DCT & CBT received 25 mg testosterone IM. Groups DCC & DBC received 1 ml saline solution IM. Males treated with exogenous testosterone and complete diet showed a higher percentage (P <0.05) of search and consumation behaviors compared to other groups. We conclude that testosterone administration in young goat males with a complete diet promotes sexual behavior capable to induce sexual activity in anovulatory goats of sub-tropical Mexico.

Key words: feeding, goats, hormonal treatments, body condition

INTRODUCCIÓN

El impacto económico que la producción caprina tiene en las familias del medio rural en el mundo, ha impulsado a los científicos y técnicos del área a investigar sobre la caracterización del patrón de reproducción de esta especie, y a proponer y establecer diferentes protocolos para un control exitoso de su reproducción. El enfoque es mejorar la eficiencia y simplicidad de las técnicas para incrementar la productividad y disminuir los costos de producción. La mayoría de los caprinos en el mundo, y principalmente en México, se producen bajo sistemas de manejo extensivo con encierro nocturno. Este sistema se caracteriza por el pastoreo de las cabras en la flora nativa de una relativamente limitada área geográfica, aledaña al domicilio del productor, durante aproximadamente ocho horas, para por la tarde regresarlas al corral en donde, en la mayoría de los casos, no reciben ningún complemento alimenticio.

La estacionalidad reproductiva de los caprinos han motivado que, en las últimas décadas, se hayan buscado alternativas que les permitan producir leche y cabritos fuera de la estación natural de reproducción y, por consiguiente, dar continuidad a los ingresos que permitan un mejor nivel de vida de los pequeños caprinocultores rurales (Carrillo *et al.*, 2014). En las regiones subtropicales existe una estacionalidad reproductiva de noviembre a febrero, lo cual indica que el inicio de la actividad sexual inicia en junio (Delgadillo *et al.*, 2003). Mientras que en el macho, al igual que la hembra, las características reproductivas se ven influenciadas por la época del año, de tal manera que su actividad sexual sucede de mayo a diciembre (verano – otoño), seguida de un periodo de reposo sexual que ocurre de enero a abril (invierno – primavera) (Delgadillo *et al.*, 1999). Esto trae consecuencias importantes sobre la conducta reproductiva de los rebaños y la economía de las explotaciones (Chemineau *et al.*, 2008).

El efecto macho constituye un estímulo socio-sexual que permite iniciar la actividad reproductiva tanto en ovejas como en cabras (Flores *et al.*, 2000; Álvarez y Zarco, 2001; Delgadillo *et al.*, 2003). En la actualidad, ésta técnica de bioestimulación se utiliza en diferentes latitudes del mundo para inducir la actividad sexual de las hembras anéstricas (Walkden-Brown *et al.*, 1999; Véliz *et al.*, 2002), ya que se ha confirmado que la introducción repentina de machos sexualmente activos es capaz de inducir

y sincronizar la actividad sexual de las hembras en la época de anestro estacional. Otro factor muy importante para que la mayoría de las hembras respondan adecuadamente al ser sometidas al efecto macho, es el tiempo de contacto entre ambos sexos.

Bedos *et al.* (2010) demostraron que el contacto de sólo cuatro horas diarias con machos sexualmente activos, es suficiente para estimular la actividad ovulatoria en cabras anéstricas, a condición de que el macho despliegue conductas sexuales. Existen estrategias para mejorar la reproducción en caprinos, como los tratamientos fotoperiódicos (Delgadillo *et al.*, 2004). Sin embargo, este método es costoso y de difícil aplicación para los caprinocultores de muchas regiones del mundo donde no se cuenta con la infraestructura eléctrica indispensable. En la actualidad existen métodos de fácil manejo y de bajo costo, como la aplicación intramuscular de Testosterona exógena (Luna-Orozco *et al.*, 2012, Ángel-García *et al.*, 2014). Otro factor importante en la modulación de la actividad sexual de los machos cabríos es la alimentación, ya que se ha probado que influye de manera importante en la actividad sexual (Yongjuan, *et al.*, 2014; Walkden-Brown *et al.*; 1994).

Debido a lo anterior, el objetivo del presente estudio es determinar el efecto que ejerce el nivel de alimentación en la actividad sexual inducida por hormonas exógenas en los machos cabríos jóvenes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Región Norte-Centro C.E. La Laguna, México (26° N y 103° O). A partir del 31 de diciembre de 2014, 16 machos cabríos multirraciales de un año de edad ($n = 4/\text{grupo}$), similares en peso ($33.3 \text{ kg} \pm 1.4 \text{ kg}$) y condición corporal (1.67 ± 0.07), se asignaron a los siguientes grupos experimentales: DCT = Dieta Completa + Testosterona; DCC = Dieta Completa Control (no testosterona); DBT = Dieta Baja + Testosterona y DBC = Dieta Baja Control (no testosterona). El grupo DCT recibió una dieta suficiente para sus necesidades: 0.3 kg/ 0.43 MCal de alfalfa, 0.2 kg/0.24 MCal de rastrojo de maíz, 0.3 kg/0.16 MCal de zacate Rye grass, 0.08 kg/0.99 MCal de melaza de caña y 0.3 kg/0.75 MCal de concentrado comercial 18% de P.C./animal/día, más 25 mg de testosterona IM (Testosterone 50, Brovel, DF, México). El grupo DCC recibió una alimentación similar:

+1 ml IM de solución salina fisiológica (SSF; placebo). El grupo DBT recibió una dieta insuficiente para sus necesidades metabólicas: 0.15 kg /0.17 Mcal de alfalfa, 0.2 kg/0.24 Mcal de rastrojo de maíz, 0.15 kg /0.08Mcal de zacate Rye grass y 0.12 kg/0.49 Mcal de melaza de caña/ animal/día, más 25 mg testosterona IM, y el grupo DBC recibió una alimentación similar: +1 ml IM de SSF. Semanalmente se registró el peso corporal (báscula digital), la condición corporal por palpación del tejido muscular y grasa en la región lumbar (rango: 1-4; 1= emaciado, 4= obeso). La testosterona se administró c/3^{er} día del 23 de febrero al 15 de marzo (tres semanas). Los días 17 y 18 de marzo, en una corraleta individual y aislada, se registraron durante 20 minutos las conductas sexuales de búsqueda y de consumación de cada macho, para lo cual se utilizó una hembra inducida al estro (ECP, Lab. Pharmacia & Upjohn, México). Las conductas se compararon con prueba de X² (MYSTAT 12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El grupo de machos DCT manifestó un mayor porcentaje ($P < 0.05$; 58.6%) de comportamientos de búsqueda (Figura 1) en comparación con los demás grupos (DBT = 15.7%, DCC = 14.56%, DBC = 11.15%).

Asimismo, el grupo DCT registró un mayor porcentaje ($P < 0.05$; 58.24%) de conductas sexuales de consumación (Figura 1) seguido por el grupo (DBT = 4.40%, DCC=20.88%, DBC = 11.2%). Estos resultados concuerdan con los de Luna Orozco *et al.* (2012) y Ángel-García *et al.* (2014), en los que la aplicación de testosterona exógena indujo a machos caprinos sexualmente inactivos a un comportamiento sexual intenso. Asimismo, coinciden con los referidos por Walkden-Brown y colaboradores (1994), pues el nivel de alimentación en esta latitud y en la casta racial estudiada funge como modulador de la intensidad de la libido de los machos cabríos. El análisis de varianza no mostró diferencia significativa en el peso corporal entre grupos (Figura 2; $P > 0.05$); sin embargo, existió interacción grupo-tiempo en los machos con dieta completa y dieta baja ($P < 0.05$). En la condición corporal (Figura 3) existió un efecto del grupo ($P < 0.05$) y también un efecto de tiempo en los grupos con alimentación completa con respecto a los alimentados con una dieta baja ($P < 0.05$; DCT y DCC vs DBT y DBC), por lo que se concluye que la administración de testosterona en machos jóvenes con una alimentación completa promueve el despliegue de conductas sexuales de búsqueda y consumación que podrían inducir la actividad sexual de cabras anovulatorias en el subtrópico mexicano.

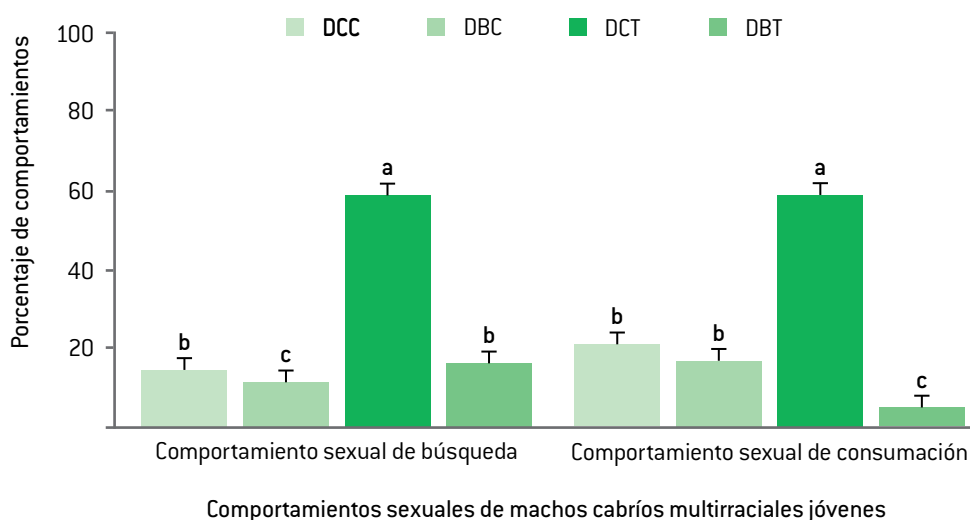


Figura 1. Comportamientos sexuales de machos cabríos multirraciales jóvenes sometidos a dos niveles de alimentación y a un tratamiento con testosterona exógena.

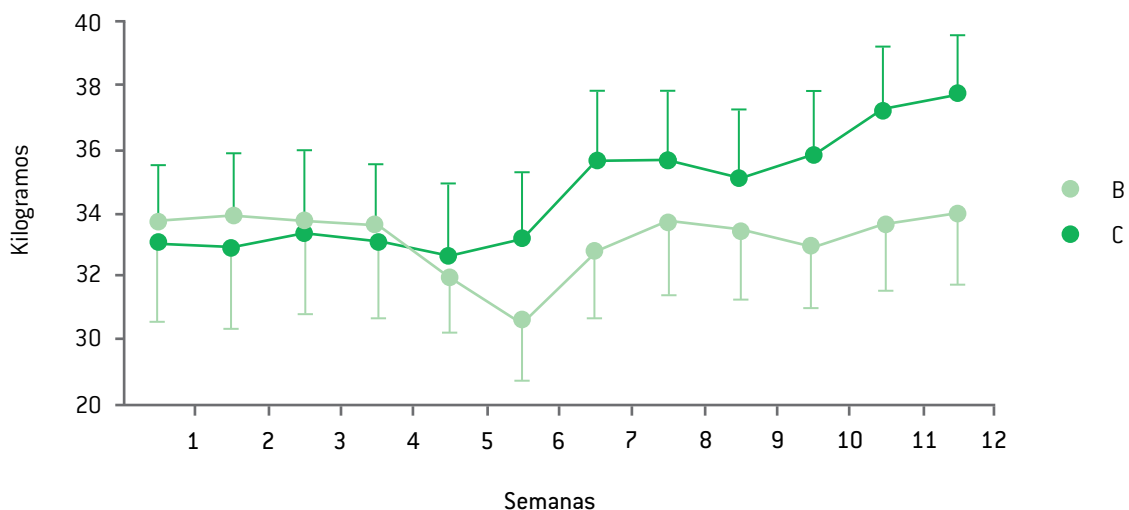


Figura 2. Peso corporal de los machos cabríos jóvenes sometidos a tratamientos con testosterona exógena y a dos niveles de alimentación.

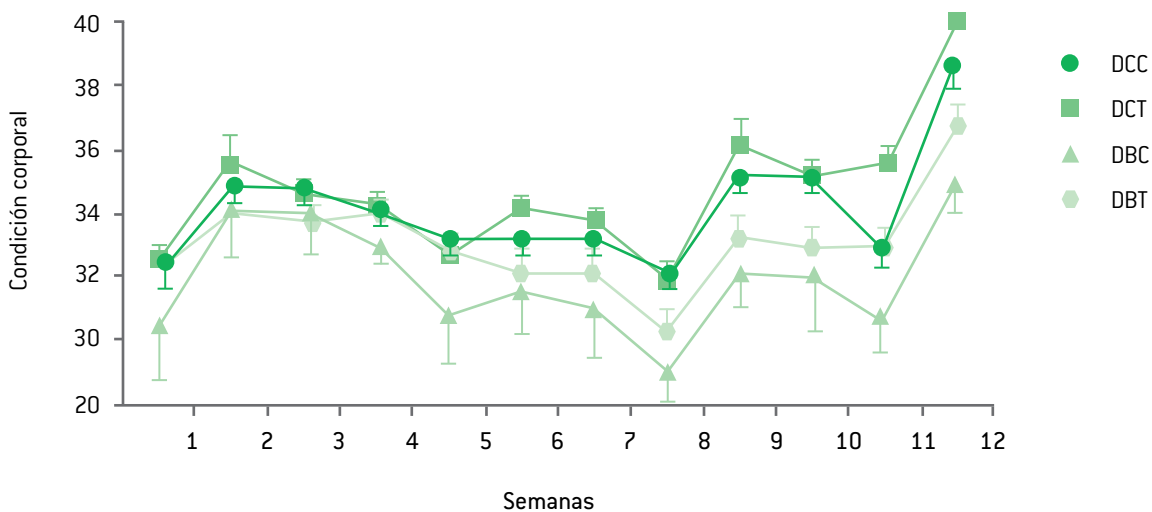


Figura 3. Condición corporal de los machos cabríos criollos multirraciales jóvenes sometidos a tratamientos con testosterona exógena y a dos niveles de alimentación.

CONCLUSIÓN

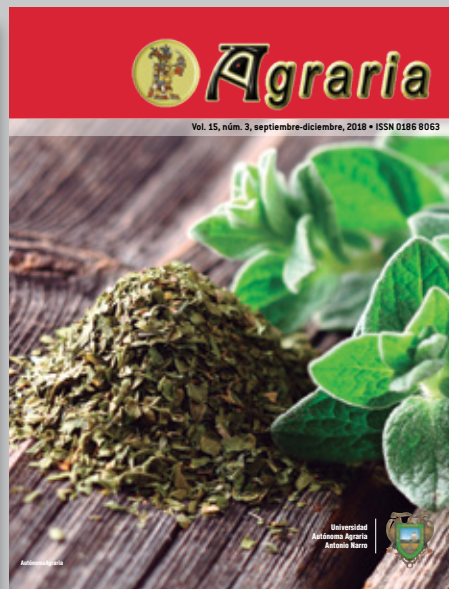
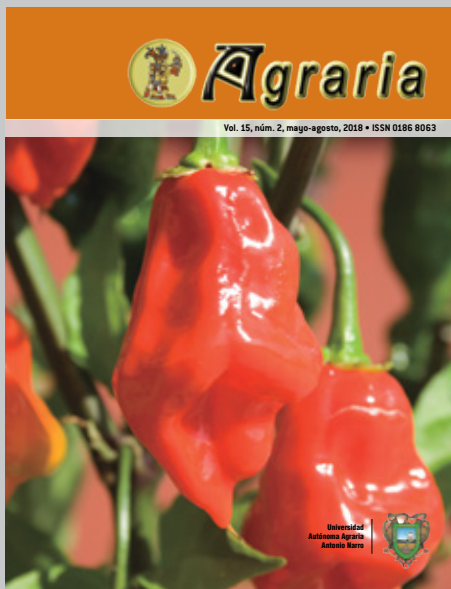
Se concluye que el tratamiento con testosterona exógena mejora las conductas sexuales de búsqueda y consumación en los machos con buena alimentación, comparados con los mal alimentados.

La aplicación de testosterona exógena y un buen nivel alimenticio no incrementó el peso corporal ni el olor en machos cabríos jóvenes; sin embargo, en relación con el tiempo, la condición corporal si registró un incremento notorio.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ L. y Zarco L. A. 2001. Los fenómenos de bioestimulación sexual en ovejas y cabras. *Vet Méx* 32: 117-129.
- ÁNGEL G.O., Meza-Herrera C.A., Guillén-Muñoz J.M., Carrillo-Castellanos E., Luna-Orozco J.R., Mellado M, Véliz-Deras F.G. 2014. Seminal characteristics, libido and serum testosterone concentrations in mixed-breed goat bucks receiving testosterone during the non-breeding period. *Journal of Applied Animal Research*, DOI: 10.1080/09712119.2014.980420.
- BEDOS M., Flores J.A., Fitz R.G., Keller M., Malpoux B., Poindron P., Delgadillo J.A. 2010. Four hours of daily contact with sexually active males is sufficient to induce fertile ovulation in anestrus goats. *Horm Behav*, doi: 10.1016/j.yhbeh.2010.05.002.
- CARRILLO E., Meza-Herrera C.A., Véliz F.G. 2010. Estacionalidad reproductiva de los machos cabríos de la raza Alpino-Francés adaptados al subtrópico Mexicano. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 2,169-178.
- CARRILLO E., Meza H.A., Olán S.A., Robles T.P.A., Leyva C., Luna O., 2014 The “female effect positively affects the appetitive and consummatory sexual behaviour and testosterone concentrations of Alpine male goats under subtropical conditions *Czech J. Anim Sci* 59: 337-343
- CHEMINEAU P., Guillaume D., Migaud M., Thiery J.C., Pellicer-Rubio M.T. y Malpoux B. 2008. Seasonality of reproduction in mammals: intimate regulatory mechanisms and practical implications. *Reprod Domest Anim* 43 Suppl 2: 40-47.
- DELGADILLO J. A., Canedo G. A., Chemineau P., Guillaume D., Malpoux, B., 1999. Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male Creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology* 52: 727-737.
- DELGADILLO, J. A., Flores J.A., Véliz F.G., Hernández H.F., Duarte G., Vielma J., Poindron P., Malpoux, B., 2003. Control de la reproducción de los caprinos del subtropico mexicano utilizando tratamientos fotoperiodicos y efecto macho. *Vet Mex* 34, 69-79.
- DELGADILLO J. A., Cortez M.E., Duarte G., Chemineau P. y Malpoux B. 2004. Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reprod Nutr Dev* 44: 183-193.
- FLORES J. A., Véliz F.G., Pérez-Villanueva J.A., Martínez de la Escalera G., Chemineau P., Poindron P. Male reproductive condition is the limiting factor of efficiency in the male effect during seasonal anestrus in females goats. *Biol Reprod* 2000; 62:1409-14.
- LUNA-OROZCO J.R., Guillén-Muñoz J.M., De Santiago-Miramontes M.A., García J.E., Rodríguez-Martínez R., Meza-Herrera C.A., Mellado M., Véliz F.G.. 2012. Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on the induction of estrus in anovulatory goats. *Trop Anim Health Prod* 44, 71-75.
- VÉLIZ F.G., Moreno S. G., Duarte, J. Vielma P., Chemineau P., Poindron B., Malpoux y J. A. Delgadillo. 2002. Male effect in seasonally anovulatory lactating goats depends on the presence of sexually active bucks, but not estrous females. *Animal Reproduction Science* 72: 197-207.
- WALKDEN-BROWN S.W., Restall B.J., Norton B.W., Scaramuzzi R.J. 1994. The “female effect” in Australian Cashmere goats: effect of season and quality of diet on the LH and testosterone response of bucks to estrous does. *J. Reprod. Fertil.* 100, 521-531.
- WALKDEN-BROWN S.W., Martin G.B., Restall B.J. 1999. Role of male-female interaction in regulating reproduction in sheep and goats. *Journal of Reproduction Fertility Supplement* 52, 243-257.
- YONGJUAN Maleck I., Hawken P., Linden M, Martin G. 2014. Under-nutrition reduces spermatogenic efficiency and sperm velocity, and increases sperm DNA damage in sexually mature male sheep. *Animal Reproduction Science* 149 (2014) 163-172.

PUBLICACIONES 2018-2019



Agraria está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA [de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México D. F.]; y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).



**Universidad
Autónoma Agraria
Antonio Narro**

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dirección de Investigación. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P. 25315,

Saltillo, Coah., México

E-mail: agraria_ne@uaaan.mx

Tel. +52 (844) 411 02 12 y 411 02 80, ext. 2003. Fax +52 (844) 411 02 11



- 1** Aptitud combinatoria y heterosis en cruzas experimentales de sorgo para grano
Combining ability and heterosis in grain sorghum experimental crosses
Nury Deyanira Gutiérrez-Palacios, José Espinoza-Velázquez, Armando Rodríguez-García, Luis Ángel Muñoz-Romero, Alfonso López-Benítez

- 11** Respuesta fisiológica a la salinidad de maíz criollo y mejorado
Physiological response to salinity in maize landraces and hybrid
Carmen Alicia Ayala-Contreras, Norma Angélica Ruiz-Torres, Froylán Rincón-Sánchez, Celestino Flores-López

- 21** Efecto de tres sistemas de labranza con el uso de un mejorador en la retención de humedad del suelo en un cultivo de avena (*avena sativa* sp)
Effect of three tillage systems with the use of a breeder in the water retention of the soil under a crop of oats (*avena sativa* sp)
Bersain Vázquez-López, Martín Cadena-Zapata, Alejandro Zermeño-González, Santos Gabriel Campos-Magaña y Félix de Jesús Sánchez-Pérez

- 27** Efectividad de aislados nativos de *Beauveria* y *Metarhizium* de Arteaga, Coahuila, en el control del gusano telarañero *Hyphantria cunea* Drury
Effectiveness of native *Beauveria* and *Metarhizium* isolates from Arteaga, Coahuila in the control of the spider webworm *Hyphantria cunea* Drury
Alejandro de la Cruz-Armas, Luis Alberto Aguirre-Uribe, Víctor Manuel Sánchez-Valdés, Ernesto Cerna-Chávez, Oswaldo García-Martínez, Yolanda Isabel Hernández-Hernández

- 39** Una alimentación adecuada mejora la conducta sexual de los machos cabríos multirraciales jóvenes tratados con testosterona en el subtrópico mexicano
Good nutrition improves sexual behavior in mixed-breed young bucks treated with testosterone in subtropical Mexico
A.G. López-Jara, M.G. Machado-Ramos, J.J. Benítez-Rivas, O. Ángel-García, L.I. Vélez-Monroy, A.U. Chávez-Solís, M.A. de Santiago-Miramontes

Agraria es una publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, creada para difundir resultados de investigación nacionales e internacionales, originales e inéditos, escritos en español e inglés, sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agro industria, biotecnología y socioeconómicas. Estos materiales pueden ser artículos científicos, notas de investigación o ensayos científico. Los materiales que se envían para su publicación deberán ceñirse a las normas editoriales y estarán sujetos a estricta revisión por pares, como requisito previo a su publicación.

