



# Agraria

Vol. 15, núm. 2, mayo-agosto, 2018 • ISSN 0186 8063



Universidad  
Autónoma Agraria  
Antonio Narro





Revista científica de la Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro, vol. 15, núm. 2, mayo-agosto, 2018.

*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  
Chile habanero (*Capsicum chinense*)

*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](mailto: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. 15, núm. 2, mayo-agosto, 2018, 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](mailto: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 mayo de 2018, y consta de 200 ejemplares.



# CONTENIDO

## PÁGINA

41

Calidad nutricional y digestibilidad *in vitro* del nopal (*Opuntia rastrera*) y maguey (*Agave salmiana* Otto)

Nutritional evaluation and *in vitro* digestibility of prickly pear cactus (*Opuntia rastrera*) and agave (*Agave salmiana* Otto)

Jesús Manuel Fuentes-Rodríguez, Giovanni Octavio Aparicio-Gómez, Fernando Ruiz-Zárate, Ana Verónica Charles-Rodríguez

49

Efecto de la densidad de plantación en la propagación vegetativa de zacate búfalo en charolas

Effect of plantation density in vegetative propagation of Buffalograss in trays

Juan Manuel Martínez-Reyna, Susana Gómez-Martínez, Froylán Rincón-Sánchez

53

Evaluación de chile habanero (*Capsicum chinense*) a diferentes distancias de siembra en invernadero

Evaluation of habanero chile (*Capsicum chinense*) at different planting distances in greenhouse

Ana María Sangabriel y Julia Aurora Montano

67

Exploración genética y reconstitución de una población de maíz enano

Genetic exploration and reconstitution of a dwarf maize population

Eduardo Hernández-Alonso, Humberto de León-Castillo, Víctor Manuel Zamora-Villa, Luis Hernández-San Juan, Cirilo Cahuare-Ramos

79

Propiedades físicas y mecánicas de escapos florales de sotol (*Dasylirion cedrosanum* Trel.) en el sureste de Coahuila

Physical and mechanical properties floral sotol scapes (*Dasylirion cedrosanum* Trel.)

Juan Manuel Ríos-Camey, Bernardo López-López, Jorge Méndez-González, Jose Antonio Ramírez-Díaz, Óscar Alberto Aguirre-Calderón



# Calidad nutricional y digestibilidad *in vitro* del nopal (*Opuntia rastrera*) y maguey (*Agave salmiana* Otto)

Nutritional evaluation and *in vitro* digestibility of prickly pear cactus (*Opuntia rastrera*) and agave (*Agave salmiana* Otto)

Jesús Manuel Fuentes-Rodríguez<sup>1\*</sup>, Giovanni Octavio Aparicio-Gómez<sup>2</sup>,  
Fernando Ruiz-Zárate<sup>1</sup>, Ana Verónica Charles-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP 25315. e-mail: [jesus\\_fuentes@hotmail.com](mailto:jesus_fuentes@hotmail.com) [\*Autor responsable]. <sup>2</sup>Tesista del Departamento de Producción Animal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

## RESUMEN

En las épocas de sequías e invierno, el nopal y el maguey se han usado por mucho tiempo como forraje de emergencia, ya que la producción de forrajes y granos es muy escasa. Estudios sobre estas plantas muestran que tienen mucha agua, aunque aportan una cantidad limitada de proteínas, por lo que es necesario adicionarles ingredientes proteicos y energéticos para mejorar su calidad nutricional. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el contenido nutricional y la digestibilidad *in vitro* de dos especies de nopal y dos de maguey a diferentes tiempos de incubación: 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 horas, en dos localidades de Arteaga, Coahuila. Las especies de nopal presentaron valores semejantes en el contenido de materia seca, extracto etéreo, proteína cruda, fibra detergente ácido y fibra detergente neutro, en tanto que en el contenido de materia orgánica, ceniza, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno se pudieron observar diferencias ( $P < 0.05$ ). En el caso del maguey, las dos especies presentaron valores semejantes en el contenido de materia seca, mientras que en el de materia orgánica, ceniza, extracto etéreo, proteína cruda, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ).

Los valores de digestibilidad *in vitro* de materia seca a los diferentes tiempos estudiados, para *Opuntia rastrera* de Arteaga fueron: 44.72, 48.24, 65.22, 74.44, 77.36, 84.13, 76.28%, y para Bella Unión de: 33.38, 42.77, 47.41, 52.56, 58.58, 66.65, 58.52%, respectivamente; en tanto que para el *Agave salmiana* de Arteaga, en los siete tiempos fueron: 53.41, 58.31, 65.58, 74.44, 83.86, 91.54, 83.76%, y para Bella Unión de: 59.71, 68.43, 75.18, 78.22, 83.51, 92.54, 86.49%, respectivamente. En el estudio se concluyó que es ampliamente recomendable utilizar las dos especies para la alimentación de los animales, ya que ambas tienen una composición nutricional muy similar, así como un alto valor en cuanto a digestibilidad.

**Palabras clave:** análisis bromatológico, digestibilidad, *in vitro*, *Opuntia rastrera*, *Agave salmiana*

## ABSTRACT

Cactus and Agave have long been used as emergency fodder during times of drought and winter in which forage and grain production is very low. Studies show that cactus and agave have lots of water and provide a limited amount of protein, so that the addition of protein and energy are necessary ingredients to improve nutritional quality. Therefore this study aimed to determine the nutritional content and *in vitro* digestibility of cactus and agave at different incubation times (0, 3, 6, 12, 24, 48 and 72 hours), at two locations in Arteaga, Coahuila. In the two locations where the cactus was obtained similar values were presented in dry matter, ether extract, crude protein, acid detergent fiber and neutral detergent fiber, while organic matter, ash, crude fiber and nitrogen free extract showed considerable differences ( $P < 0.05$ ). In the case of agave, the two localities presented similar values in dry matter, while organic matter, ash, ether extract, crude protein, acid detergent fiber, neutral detergent fiber and nitrogen free extract showed considerable differences ( $P < 0.05$ ).

The values of *in vitro* dry matter digestibility at different times were studied for *Opuntia rastrera* at Arteaga and were: 44.72, 48.24, 65.22, 74.44, 77.36, 84.13, and 76.28% for Bella Unión were: 33.38, 42.77, 47.41, 52.56, 58.58, 66.65, 58.52% respectively, whereas for the *Agave salmiana* at Arteaga, in the seven times were: 53.41, 58.31, 65.58, 74.44, 83.86, 91.54, 83.76% and Bella Unión were: 59.71, 68.43, 75.18, 78.22, 83.51, 92.54, 86.49% respectively.

It is widely recommended to use the two species for animal feed, as both have a similar nutritional composition, and a high value in terms of digestibility which are very acceptable.

**Key words:** bromatological analysis, *in vitro* digestibility, *Opuntia rastrera*, *Agave salmiana*

## INTRODUCCIÓN

Debido al gran crecimiento y expansión de la tasa demográfica en el mundo, nuestro país al igual que muchos otros tiene una notable demanda de producción de alimentos tales como carne, leche, además de otros, los cuales deben ser de la mejor calidad y al menor costo posible. Para lograrlo se requiere atender muchos factores que intervienen en la producción, como los de origen nutricional, ya que de éstos depende la sanidad, reproducción y crecimiento de los animales, pero además los relacionados con los costos de operación, ya que en los últimos años se han incrementado drásticamente, al punto de que llegan a representar hasta 80% en las explotaciones intensivas.

El propósito prioritario para toda explotación pecuaria es tener la mayor producción, de la mejor calidad, pero al menor costo posible, por lo que es importante ampliar los conocimientos de otras especies forrajeras que se han subutilizado en la alimentación de los animales, que pueden tener igual o mejor calidad que las que actualmente se usan, pero a menor costo. Se busca una alternativa para utilizar especies como: *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana* Otto en la alimentación de los animales, ya que en nuestro país estas especies no tienen amplia explotación comercial. En las regiones ganaderas con zonas áridas y semiáridas hay pocas precipitaciones y, por consiguiente, poca producción de forraje verde, y en casos extremos nula, por lo que estas especies podrían ser la clave para mejorar la producción de las explotaciones pecuarias en el país.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el contenido nutricional y la digestibilidad *in vitro* del nopal y maguey a diferentes tiempos de incubación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación de los materiales colectados en los ejidos Arteaga y Bella Unión, del municipio de Arteaga, Coahuila, ubicados a 25°26'00" LN, 100°49'03" LO, con una altitud de 1,745 msnm, se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. La zona de estudio tiene un clima BMW (X): de muy seco a semicálido, con invierno fresco, extremoso, con lluvias en verano y una precipitación media anual de 298.5 mm; los meses de junio a octubre son los más lluviosos y marzo el más seco, con una temperatu-

ra media anual de 19.8 °C. El clima está clasificado como seco o árido (Mendoza, 1983).

Las plantas se cortaron entre la segunda y tercera penca en el caso del nopal, y la segunda y tercera hoja en el del maguey, en triplicado. Se colectaron, en promedio, alrededor de 15 kg de muestra de las dos especies. El análisis bromatológico se realizó de acuerdo con los procedimientos de la AOAC (1980); el de las fracciones de fibra (FC, FDA y FDN), celulosa y lignina, de acuerdo con el procedimiento descrito por Espinoza (1987). Posteriormente, la determinación de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca se hizo conforme al procedimiento de Tilley y Terry (1962), con las modificaciones de Goering y Van Soest (1970), la cual se interrumpió en los siguientes tiempos de incubación: 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 horas.

Para el estudio del contenido nutricional se utilizó un análisis de varianza para la evaluación de los datos de los cuatro tratamientos: T1= Nopal Arteaga, T2= Nopal Bella Unión, T3= Maguey Arteaga y T4= Maguey Bella Unión, a las cuales se les asignaron tres repeticiones, respectivamente, mediante un diseño de bloques completamente al azar, con el paquete SAS (versión 9.0). Para la determinación de la DIVMS se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x7: cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno y siete tiempos de incubación, que se expresa con la siguiente fórmula:

$$Y = A + B (1 - \text{EXP} (CT))$$

Donde:

A = fracción altamente degradable,

B = fracción potencialmente degradable, B se calcula como  $B = (a + b) - A$ ,

C = velocidad de degradación.

El tiempo de retraso se calcula a partir de la ecuación ajustada, es decir, el valor de t cuando  $Y = A$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis bromatológico del nopal

En el Cuadro 1 se muestran los resultados del contenido nutricional de la variedad de *Opuntia* utilizada para las localidades de Arteaga y Bella Unión. En el cuadro se puede apreciar que las dos especies presentan valores semejantes respecto a contenido de materia seca, extracto etéreo, proteína cruda, fibra detergente ácido y fibra detergente neutro, mientras que en el contenido de materia orgánica, ceniza, fi-

**Cuadro 1.** Análisis bromatológico del nopal (*Opuntia rastrera*) de dos localidades de Arteaga, Coahuila.

Muestra	MS	MO	C	E.E	PC	FDA	FDN	FC	ELN
Arteaga	10.17 <sup>a</sup>	70.43 <sup>b</sup>	25.14 <sup>a</sup>	1.73 <sup>a</sup>	9.14 <sup>a</sup>	33.99 <sup>a</sup>	56.61 <sup>a</sup>	31.15 <sup>a</sup>	35.96 <sup>b</sup>
Bella Unión	10.40 <sup>a</sup>	81.41 <sup>a</sup>	13.17 <sup>b</sup>	1.59 <sup>a</sup>	9.59 <sup>a</sup>	33.75 <sup>a</sup>	54.26 <sup>a</sup>	24.59 <sup>b</sup>	53.48 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> literales diferentes en columnas indican diferencia significativa (P<0.05).

bra cruda y extracto libre de nitrógeno se pueden observar diferencias (P < 0.05). Al realizar una comparación con el estudio de Mata (2011), quien evaluó nutricionalmente dos variedades de nopal (*Opuntia* spp.), reportó para el forrajero los siguientes resultados: proteína entre 1.2-2.65%, extracto etéreo 1.42-1.85%, fibra cruda entre 9.23-10.54%, ceniza entre 12.05-16.23%, y encontró que el extracto etéreo se encuentra dentro de este rango, mientras que ceniza, fibra cruda y proteína presentaron resultados muy por arriba de los rangos citados, a los obtenidos por Flores (1977), pero en cuanto a MS se encontraron dentro de este rango. Para FDA y FDN de las dos especies utilizadas se obtienen valores por arriba a los citados por Medina *et al.* (2006), quienes mencionan que el contenido de FDA se encontró alrededor de 16% y el contenido de FDN entre 30 y 45%, aproximadamente.

#### Análisis bromatológico del maguey

En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos de la composición química de la variedad de agave utilizada para la localidad de Arteaga y Bella Unión. Se puede apreciar que las dos especies presentan valores semejantes en el contenido de materia seca, mientras que en el contenido de materia orgánica, ceniza, extracto etéreo, proteína cruda, fibra

detergente ácido, fibra detergente neutro, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno se pueden observar diferencias (P < 0.05). Al comparar estos resultados con estudios de Baraza *et al.* (2008), en el cual reportan 4.7% de proteína cruda en *A. salmiana* silvestre y de 5.1 hasta 6.6% en *A. salmiana* cultivado, encuentran que los resultados obtenidos están por arriba de los citados, lo cual se debió a algunos factores como: edad, época en la que se colectaron las muestras y lugar, mientras que para extracto etéreo, cenizas, fibra cruda fueron semejantes a los obtenidos por González (1994) y Martínez (1994); sin embargo, los resultados para FDN y FDA fueron similares a los de Baraza *et al.* (2008), ya que en *A. salmiana* silvestre reportaron un contenido de 33.3 y 28.2% de FDN y FDA, respectivamente, mientras que los obtenidos estuvieron un tanto por arriba de los citados.

#### Digestibilidad *in vitro* del nopal

En el Cuadro 3 se presentan los valores de digestibilidad entre *Opuntia rastrera* en los diferentes intervalos de tiempo en que se llevó a cabo la digestibilidad de cada muestra de las diferentes localidades. Aquí se puede observar que los valores obtenidos son muy diferentes para las dos muestras, las cuales alcanzan su mayor grado de digestibilidad a un tiempo de incubación de 48 horas, con una digestibilidad de

**Cuadro 2.** Análisis bromatológico del maguey (*Agave salmiana* Otto) de dos localidades de Arteaga, Coahuila.

Muestra	MS	MO	C	E.E	PC	FDA	FDN	FC	ELN
Arteaga	15.50 <sup>a</sup>	56.85 <sup>b</sup>	41.51 <sup>a</sup>	1.05 <sup>b</sup>	5.35 <sup>b</sup>	42.93 <sup>b</sup>	82.78 <sup>b</sup>	41.13 <sup>b</sup>	35.96 <sup>a</sup>
Bella Unión	15.20 <sup>a</sup>	86.72 <sup>a</sup>	11.24 <sup>b</sup>	1.68 <sup>a</sup>	8.25 <sup>a</sup>	46.51 <sup>a</sup>	87.52 <sup>a</sup>	46.37 <sup>a</sup>	32.44 <sup>b</sup>

<sup>ab</sup> literales diferentes en columnas indican diferencia significativa (P<0.05).

**Cuadro 3.** Relación tiempo y digestibilidad de *Opuntia rastrea* en dos localidades de Arteaga, Coahuila.

Tiempo de digestibilidad (horas)	Digestibilidad de <i>Opuntia rastrea</i> , Arteaga (%)	Digestibilidad de <i>Opuntia rastrea</i> , Bella Unión (%)
0	44.724 <sup>a</sup>	33.376 <sup>a</sup>
3	48.228 <sup>b</sup>	42.770 <sup>b</sup>
6	65.216 <sup>c</sup>	47.405 <sup>c</sup>
12	74.438 <sup>d</sup>	52.558 <sup>d</sup>
24	77.364 <sup>e</sup>	58.579 <sup>e</sup>
48	84.131 <sup>f</sup>	66.647 <sup>f</sup>
72	76.277 <sup>g</sup>	58.516 <sup>g</sup>

abcdefg literales diferentes en columnas indican diferencia significativa (P<0.05).

84.13% para Arteaga, y de 66.65% para Bella Unión, para posteriormente disminuir en el tiempo de incubación de 72 horas. Los valores que se obtuvieron del nopal son muy similares a los que reporta Abrego (2009), quien observó una DIVMS a las 72 horas de 80.31% de nopal *in natura*, sin ningún subproducto de cervecera, y de 77.95% con nopal al 80% + 10% de melaza y 10% de subproductos de cervecera, y a las 24 horas una digestibilidad de 71.79% con nopal al 70% + 10% de melaza y 20% de subproductos de cervecera. Este mismo autor registró digestibilidad de nopal ensilado, adicionado con subproductos de cervecera, de 76.28% a las 72 horas con nopal al 70% + 10% de melaza y 20% de subproducto de cervecera, y de 75.18% con nopal al 60% + 10% de melaza y 30% de subproducto de cervecera a las 24 horas, y del nopal sin ningún subproducto de cervecera y sin melaza, una digestibilidad de 61.32% hasta las 96 horas. Mientras que González (1964) menciona que en una prueba de digestibilidad aparente en la que se utilizaron tres vacas criollas con tres raciones: R1) 40 kg de nopal solo, R2) 40 kg de nopal + 0.500 kg de harinolina, y R3) 40 kg de nopal+ 0.700 kg de sorgo, se observó que la ración de nopal + harinolina fue superior a las de nopal + sorgo, al tener el coeficiente de digestibilidad de 93.4, 75.7 y 71.9%, respectivamente. Por otro lado, Shoop *et al.* (1977) determinaron que 80% de la digestión total de *O. polyacantha* en las Grandes Planicies ocurrió durante las primeras 16 horas de un periodo de incubación de 48, mientras que la digestión total de pellets y heno de alfalfa únicamente ocurrió 73 y 71% en un perio-

do inicial de 16 horas. La principal diferencia entre el nopal y otras fuentes de forraje es la degradación de los nutrientes en el rumen, mientras que la degradación potencial de los demás forrajes en el rumen frecuentemente alcanza 48 horas; los nutrientes del nopal se degradan entre 6 y 12 horas, de modo que puede asumirse que no existe extracción significativa de nutrientes después de 24 horas (Ben Thlija, 1987).

#### Digestibilidad *in vitro* del maguey

Los resultados de los valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca a diferentes intervalos de tiempo de las diferentes localidades, mediante el método Daisy, se muestran en el Cuadro 4, donde se puede observar que los valores obtenidos son muy similares para las dos localidades, los cuales alcanzan su mayor grado de digestibilidad en un tiempo de incubación de 48 horas con un porcentaje de digestibilidad de 91.54% para Arteaga, y de 92.54% para Bella Unión, que disminuye en un tiempo de incubación de 72 horas.

Los valores que se obtuvieron del maguey son muy parecidos a los que registró Gómez (2003), quien comenta que tuvo mayor digestibilidad (90.74 y 90.33%) en los tiempos de 72 y 48 horas en *Agave salmiana* y *Agave americana*, respectivamente. García (1984) reportó que la mayor digestibilidad se presentó en los tratamientos de flor y melaza, y de flor, con un 95% y 94%, respectivamente, y que los tratamientos realizados con quiote y melaza presentaron valores menores de digestibilidad (49% y 41%), en tratamientos a base de puro quiote. Mien-

tras que Barrera (1987), en su experimento realizado con el Guishe de la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), reportó valores de digestibilidad de 56% a 72 horas de incubación; Martínez (1994) reportó valores de digestibilidad de *Agave salmiana* y *Agave atrovirens karw* de 62.40 y 64.52%, respectivamente.

López *et al.* (2001) determinaron la digestibilidad *in situ* de la materia seca del maguey maduro (*Agave salmiana*) y de residuos de mezcalera (penca de desvirado, quiotes en prefloración y bagazo), y encontraron que la penca de desvirado fresca tuvo la mayor degradación ruminal ( $P < 0.05$ ), seguida del maguey fresco y de la penca de desvirado oreada, mientras que el maguey entero fresco presentó la tasa de desaparición (Kd/h) más alta, en tanto que el maguey oreado y la penca de desvirado fresca tuvieron los valores subsecuentes.

Por otra parte, Arizpe (1975) menciona que la digestibilidad del maguey es alta; sin embargo, es difícil llenar las necesidades de mantenimiento de un animal proporcionando únicamente maguey, por lo que se debe mezclar con ingredientes de mejor calidad. García-Herrera (2010) señala que en animales con raciones bien formuladas, en las que se combinan diversos alimentos para que se logre una óptima digestión, hay una digestibilidad del maguey arriba de 80%, dependiendo de la parte de la planta que se utilice: penca, piña y quiote, de su edad y del estado fisiológico. Urrutia *et al.* (1982) reportan la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del rastrojo de

maíz con un valor de 50.08% a las 72 horas de incubación, lo cual indica que es baja. Cherney *et al.* (1993) reportan valores de digestibilidad altos para la alfalfa (75.1%), ensilado de maíz (73.2%) y avena (83.7%), los cuales son semejantes a los que se obtuvieron en el tratamiento 5 (24 horas) y tratamiento 7 (72 horas). Valdés y Jones (1987) obtuvieron una DIVMS en 30 zacates de 63.3%, en promedio, y en 25 leguminosas de 58.5% en promedio. Fisher *et al.* (1989) mencionan que la extensión de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca a las 48 horas generalmente se correlaciona bien con los coeficientes de digestión *in vivo*. Sin embargo, no todos los forrajes tienen su máxima extensión de desaparición a las 48 horas, lo cual se puede deber a otros factores, tales como: genéticos, variedad, estado de madurez, edad de la planta, estación del año, frecuencia de corte, factores físicos y químicos del suelo (De Alba, 1971; Espinoza, 1987; Flores, 1977). A partir de lo antes mencionado y de acuerdo con los resultados obtenidos, *Opuntia* y *Agave* son más digestibles que los zacates, el rastrojo de maíz y las leguminosas.

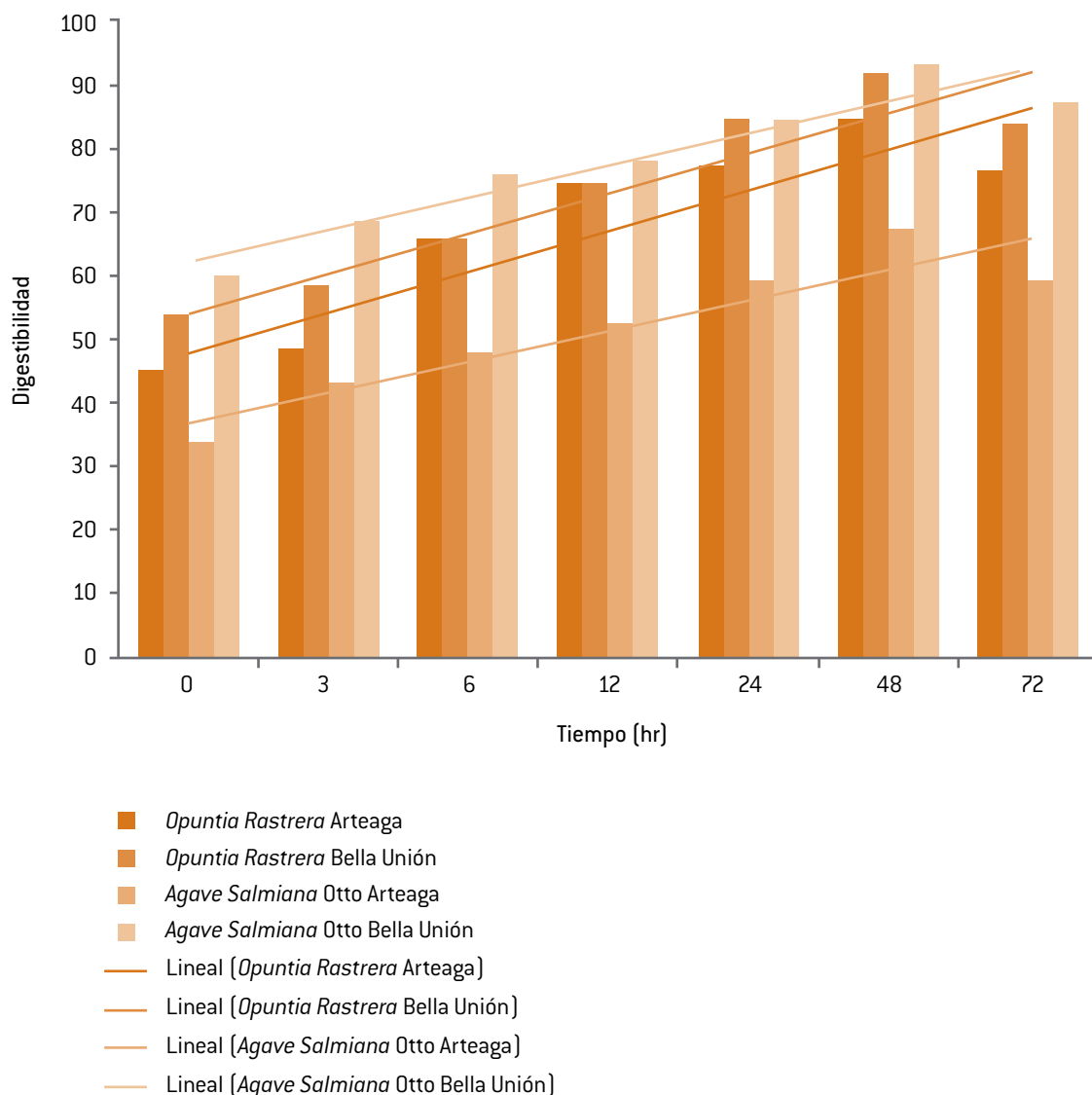
En la Figura 1 se puede apreciar la representación comparativa de las pruebas de digestibilidad de la especie de *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana* Otto de las dos localidades.

Durante la fase inicial hay un lapso en el que la degradación es menor debido a que existe una adaptación de las bacterias del rumen al alimento; a esto se le conoce como fracción A; luego se da un incre-

**Cuadro 4.** Relación tiempo y digestibilidad de *Agave salmiana* Otto para cada localidad.

Tiempo de digestibilidad (horas)	Digestibilidad de <i>Agave salmiana</i> Otto, Arteaga (%)	Digestibilidad de <i>Agave salmiana</i> Otto, Bella Unión (%)
0	53.407 <sup>a</sup>	59.713 <sup>a</sup>
3	58.308 <sup>b</sup>	68.426 <sup>b</sup>
6	65.577 <sup>c</sup>	75.179 <sup>c</sup>
12	74.443 <sup>d</sup>	78.218 <sup>d</sup>
24	83.864 <sup>e</sup>	83.513 <sup>e</sup>
48	91.538 <sup>f</sup>	92.538 <sup>f</sup>
72	83.755 <sup>g</sup>	86.488 <sup>g</sup>

abcdefg | literales diferentes en columnas indican diferencia significativa [ $P < 0.05$ ].



**Figura 1.** Comparación de la digestibilidad entre *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana* entre localidades.

mento en la degradación, y se llama fracción B. La degradación llega a un punto en el que se mantiene por cierto tiempo para después descender debido a que ya no hay más sustrato para continuar con la degradación del alimento, por lo que se afirma que entre más tiempo pasen las muestras de alimento, más serán digeridos por los organismos del rumen.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se evaluaron las dos variedades: *Opuntia rastrera* y *Agave salmiana* Otto.

En cuanto al contenido de su composición nutritiva existen diferencias significativas, en las cuales el nopal presenta mejores características nutritivas que el maguey, aunque en cuanto al contenido de fibra el maguey está muy por arriba del nopal. Por lo anterior, el nopal y el maguey son plantas que presentan un valor nutritivo aceptable, por lo que pueden consumirse por los animales durante las épocas de sequía, ya que, además de ser una buena fuente de alimento, también les proporciona agua en lugares donde es difícil conseguir para animales en pastoreo.

Al realizar una comparación de los resultados de digestibilidad, el nopal y el maguey presentan un rango aceptable, por lo que se recomiendan como

alternativa para el uso alimenticio del ganado. Las muestras analizadas, a las 48 horas alcanzaron la degradación de los valores que se observaron, lo cual indica que entre más se exponga el alimento a los microorganismos, mayor será su degradación, hasta llegar al punto en el que desaparece el sustrato.

## LITERATURA CITADA

- ÁBREGO, G. A. 2009. Evaluación bromatológica y digestibilidad *in vitro* de nopal (*Opuntia ficus-indica*) adicionado con subproductos de cervecería. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis. 13th Edn. Association of Agricultural Chemists. Washington. DC.
- ARIZPE, G.J.P. 1975. Digestibilidad del maguey. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Monterrey, Nuevo León, México. pp. 11, 14, 16, 18 y 21.
- BARAZA, E., Ángeles, S., García, A. y Valiente-Banuet, A. 2008. Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el Valle de Tehuacán, México. *Interciencia* 33(12): 891-896.
- BARRERA Martínez, J. E. 1987. Valor nutritivo del guishe de la lechuguilla (*agave lechuguilla* t.) y su utilización en la alimentación de cabras de desecho, sustituyendo al rastrojo de maíz. Tesis UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- BEN THLIJA, A. 1987. Nutritional value of several *Opuntia* species. M. Sc. Thesis. 84 p.
- CHERNEY, D. J. R., J. H. Cherney and R. F. Lucey. 1993. *In vitro* digestion kinetics and quality of perennial grasses as influenced by forage maturity. *J. Dairy Sci* 76: 790-797.
- DE ALBA, J. 1971. Alimentación del ganado en América Latina. 2ª. edición. La prensa médica mexicana. México. pp. 475.
- ESPINOZA, A., J. 1987. Caracterización morfológica y bromatológica del nopal forrajero en diferentes ambientes de la sierra de Paila, Coahuila. Tesis de maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- FISHER, D. S., J. C. Burns and K. R. Pond. 1989. Kinetics of *in vitro* cell wall disappearance and *in vivo* digestion. Published. In *Agron. J.* 81: 25-33.
- FLORES, V.C.A. 1977. El nopal como forraje. Tesis profesional UACH. México. p. 179.
- GOERING, M.K., y Van Soest, P.J. (1970). Forage fibre analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA Agriculture Handbook. No. 379.
- GÓMEZ, V. A. 2003. Digestibilidad *in vitro* de dos variedades de maguey (*Agave salmiana* y *Agave americana*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- GONZÁLEZ, M.J. 1964. Digestibilidad del nopal (*Opuntia chrysacantha berg*). Tesis de Licenciatura. ITESM Monterrey, N.L. México.
- GONZÁLEZ, G.S.R. 1994. Valor nutricional de dos especies de maguey, *Agave salmiana* y *Agave atrovirens karw*, forrajes utilizadas en las zonas áridas del norte de México, en relación a sus características fenológicas. Tesis profesional. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 21.
- MARTÍNEZ, C. J. L. 1994. Valor nutritivo de dos especies de maguey (*Agave atrovirens*. Karw y *A. salmiana*) en el sur de Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- LÓPEZ, A. S., J.M. Pinos-Rodríguez, I.D. Martínez, D.A. Chávez, J.R. Aguirre y M.L. Rodríguez. 2001. *In situ* digestibility to value ruminal degradability of the maguey (*Agave salmiana*). En: Memoria de la 5ta Reunión Científica y Tecnológica, Agrícola, Pecuaria y Forestal. S.L.P. pp. 4-11.
- MATA, C. A. 2011. Degradación *in vitro* de dos variedades de *Opuntia* mediante enzimas producidas por la cepa ruminal VML-2. Tesis de Licenciatura, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- MENDOZA, H.J.M. 1983. Diagnóstico climático para zonas de influencia inmediata de la UAAAN. Departamento de Agrometeorología. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-5.
- TILLEY J. M. A. y Terry, R. A. 1962. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Brit. Grassland Soc.* 18:104-111.
- URRUTIA, M.J., Martínez, L.R y Shimada, A.S. 1982. Valor nutritivo del rastrojo de maíz y ensilaje de maíz con y sin mazorca con hidróxido de sodio para borregos en crecimiento. *Técnicas Pecuarias*. México, D.F. pp. 7-16.



# Efecto de la densidad de plantación en la propagación vegetativa de zacate búfalo en charolas

## Effect of plantation density in vegetative propagation of Buffalograss in trays



Juan Manuel Martínez-Reyna<sup>1\*</sup>, Susana Gómez-Martínez<sup>1</sup>, Froylán Rincón-Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coah. México. CP 25315. Tel.: 844 411 0296. e-mail: jmarrey@uaaan.mx\* [\*Autor responsable]

### RESUMEN

El zacate búfalo es la única planta nativa de la región centro norte de México que se utiliza para césped. Una forma de propagarlo es mediante el enraizado y amacollado de una porción de estolón de cepas que se producen en charolas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del número de porciones por cavidad en la calidad de las cepas. Para el experimento se utilizaron charolas de 72 cavidades y se evaluaron tres materiales: B9, B62 y RC14. Los resultados indicaron que no existe diferencia entre las tres densidades evaluadas: 1, 2 y 3 porciones de estolón por cavidad. La propagación de materiales de zacate búfalo se puede hacer con una porción por cavidad, lo cual implica que, desde un punto de vista comercial, se requerirá menos material para producir charolas de buena calidad.

**Palabras clave:** *Bouteloua dactyloides*, cepa, estolón

### ABSTRACT

Buffalograss is a native grass of the north central region of Mexico and is the only native species used as turfgrass. One way to propagate this turfgrass is by plugs produced in trays. In propagation of Buffalograss a plug is the portion of rooted stolon with tillers produced in trays. The objective of this work was to determine the effect of the number of portions per tray cavity on the quality of the plugs. For this experiment, trays with 72 cavities were used and three different materials were evaluated: B9, B62 and RC14. The results indicated that there is no difference between the three different densities evaluated (1, 2 and 3 portions of stolon per cavity). The propagation of Buffalograss materials can be done with one portion per cavity. From a commercial point of view this implies that less material will be required to produce good quality trays.

**Key words:** *Bouteloua dactyloides*, plug, stolon

## INTRODUCCIÓN

El césped es la cubierta vegetal establecida en un sitio para embellecer el entorno, prevenir la erosión y permitir la visibilidad a orillas de los caminos. Adicionalmente se utiliza para reducir la temperatura ambiental y contaminantes, tales como polvo y otras partículas, lo que permite crear un microclima; también proporciona condiciones más adecuadas para la práctica del deporte y la recreación.

Sin duda, la problemática de los céspedes es más severa en las regiones árida y semiárida de México, ya que tienen precipitaciones escasas, un clima extremo y una población que se incrementa cada día, lo que ha reducido la disponibilidad del agua, aun para consumo humano. Una alternativa real para tales regiones es el uso de especies nativas con potencial de césped. La ventaja del uso de estas especies sobre las introducidas, radica en que presentan una excelente adaptación a las condiciones climáticas, edáficas y fitosanitarias de la región. Si se considera lo anterior, una gran opción de césped para las zonas semiáridas de México es el zacate búfalo (*Bouteloua dactyloides*) (Hernández *et al.*, 2007; Martínez, 2011).

El zacate búfalo es una especie nativa de Norteamérica con gran potencial para usarse como césped. Es una especie perenne, dioica, ocasionalmente monoica, de porte bajo y estolonífera. Su altura va de 9 a 13.8 cm y puede llegar a 30 cm máximo. La longitud de la lámina foliar varía de 2 a 10 cm y el ancho de 1 a 3 mm (Hernández *et al.*, 2007). En México se distribuye en un rango de latitud de 19 a 29° N y de longitud de 98.6 a 106.8° O, que incluye la zona comprendida desde el Eje Neovolcánico al sur, hasta la frontera con Texas al norte, y entre las Sierra Madre Oriental (Martínez *et al.*, 2007).

El zacate búfalo se puede establecer por semilla o material vegetativo, por tepe, por fracciones de tepe o por cepa. La forma más económica de hacerlo es mediante cepa, ya que la semilla no germina uniformemente y los tepes son caros y difíciles de conseguir. Martínez (2011) define una cepa de zacate búfalo como la porción de estolón enraizada y amcollada en charolas.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto que tiene el número de porciones de estolón por cavidad en la calidad de la cepa después de dos meses de plantada, y si se produce alguna interacción entre el material genético y la densidad. Para definir

una buena calidad, se consideró que al momento de extraer las cepas de la charola mantengan íntegro el cepellón, para evitar que el sustrato se desborone y las raíces queden expuestas.

La hipótesis de trabajo fue: el número de porciones plantadas por cavidad afecta la calidad de la cepa. Si se requiere una mayor densidad para obtener más calidad, entonces el productor de cepas de zacate búfalo se verá afectado, ya que requerirá mayor cantidad de material vegetativo original por charola.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales de zacate búfalo utilizados fueron: B9, B62 y RC17, que son genéticos hembra sobresalientes, seleccionados por su calidad de césped en el Programa de Pastos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

El B9 se derivó de una colecta realizada en la cercanía de General Cépeda, Coah. y se seleccionó por su alta densidad de follaje y por su resistencia a podas bajas. Es un material tetraploide de color verde oscuro. Mientras que el B62 y el RC17 se obtuvieron de materiales colectados en Real de Catorce, San Luis Potosí: el primero, un diploide con follaje verde claro, por su alta producción de estolones; el segundo, un diploide de color verde medio, por su altura baja y alta densidad de follaje.

El experimento se estableció el 11 de julio de 2014, en el Campo Experimental de la UAAAN, de Matuhuala, San Luis Potosí: Se usaron charolas con 72 cavidades, y *peat moss* como sustrato, al que se le incorporó el fertilizante Osmocote 14-14-14. 3-4M. Las charolas se colocaron a campo abierto y se regaron diariamente para evitar la deshidratación del sustrato.

Las variables evaluadas por cepa fueron: peso seco de tallo (PST), peso seco de raíz (PSR), relación PSR/PST, número de estolones (NE) y longitud de estolones (LTE). Para obtener los datos, el 12 de septiembre de 2014 se realizó un muestreo aleatorio de tres cepas por tratamiento, dos meses después del establecimiento. Las variables NE y LTE se obtuvieron contando y midiendo los estolones, respectivamente. Para las variables PST y PSR, primero se sumergieron en agua cada una de las cepas y cuidadosamente se eliminó la mayor cantidad de sustrato; posteriormente se colocó cada cepa por separado en un cedazo, y con agua corriente se limpió la raíz completamente. El cedazo tuvo la función de contener

cualquier porción de raíz que pudiera desprenderse al momento del lavado. Después se procedió a separar el tallo de la raíz. Las muestras se pusieron en una estufa a 45 °C durante dos días, para deshidratarlas hasta peso constante.

En esta investigación se usó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, en un arreglo factorial: A) material genético con tres niveles: B9, B62 y RC17; B) densidad con tres niveles: cepa con una porción de estolón, cepa con dos porciones y cepa con tres porciones. La porción de estolón consistió de un nudo con dos yemas desarrolladas y una porción de entrenudo.

La unidad experimental constó de 16 cepas, localizadas en las cavidades de la parte central de la mitad de la charola; el resto de las 32 cavidades de dicha mitad se plantaron, pero sin considerar tratamiento alguno, para así eliminar un posible efecto de borde al momento de regar la unidad experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza indicaron que sólo hubo diferencias significativas para el factor material, en la variable peso seco de tallo (PST) como se presenta en el Cuadro 1. El material B62 tuvo el mayor peso seco del tallo, seguido por RC17 y B9, lo cual se debe a que B62 es un material que produce más estolones; si bien esto no se reflejó en una diferencia estadística para esta variable entre materiales, el tener más tallos se tradujo en un mayor peso seco de tallo.

**Cuadro 1.** Medias generales de las variables evaluadas por material genético. Matehuala, SLP 2014.

Material	PST (gr)	PSR/PRT	NE	LTE (cm)
B62	0.522 a <sup>†</sup>	0.343	1.94	38.92
B9	0.367 b	0.467	1.58	24.01
RC17	0.444 ab	0.519	1.57	24.96

<sup>†</sup> Letras iguales en la columna no son estadísticamente diferentes DMS. Valor crítico 0.12

PST: peso seco de tallo; PSR: peso seco de raíz; relación PSR/PST; NE: número de estolones y LTE: longitud de estolones.

La ausencia de diferencias significativas en las otras variables para el factor densidad (Cuadro 2) indica que, para un periodo de producción de cepas de dos meses, el incremento en el número de porciones de estolón por cepa no favoreció la calidad de la cepa producida. La explicación a esto, sin duda, es el efecto de competencia. La competencia por los recursos agua y fertilizantes provocó que la relación PSR/PST fuera menor en cada una de las tres porciones de estolón de la densidad 3, que en suma tuvieron una relación PSR/PST igual a la que tuvo una sola porción de estolón de la densidad 1.

**Cuadro 2.** Medias generales de las variables evaluadas por densidad de plantación. Matehuala, SLP 2014.

Densidad	PST (gr)	PSR/PRT	NE	LTE (cm)
1	0.400	0.437	1.83	32.52
2	0.444	0.417	1.43	26.33
3	0.489	0.476	1.84	29.04

PST: peso seco de tallo; PSR: peso seco de raíz; relación PSR/PST; NE: número de estolones y LTE: longitud de estolones.

Desde un punto de vista comercial es más conveniente producir las cepas con una porción que con dos o tres porciones de estolón, ya que con la misma cantidad de material vegetativo de las plantas madres de zacate búfalo se producirán más charolas.

## CONCLUSIONES

Una mayor densidad de plantación de porciones de estolón en la producción de material vegetativo de zacate búfalo, no incrementa la calidad de las cepas producidas.

Para un periodo de producción de cepas de dos meses, se recomienda utilizar una sola porción de estolón para realizar la propagación de este zacate.

## LITERATURA CITADA

HERNÁNDEZ-CALDERA, R.E., J.M. Martínez-Reyna, M.H. Reyes-Valdez, J.R. González-Domínguez y H. Díaz-

- Solís. 2007. Caracterización morfológica y de calidad de césped de ecotipos de Zacate búfalo [*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engem.]. Rev. Fitotec. Mex. 30(4): 381-390.
- MARTÍNEZ, R. J. M., P. Díaz N. y R. E. Hernández C. 2007. Asociación entre el nivel de ploidía y la distribución geográfica de Zacate búfalo (*Buchloe dactyloides*). In: Libro Científico Anual Agricultura Ganadería y Ciencia Forestal UAAAN, 2006. pp 242-251.
- MARTÍNEZ, R. J. M. 2011. El zacate búfalo (*Buchloe dactyloides*). Un césped para zonas semiáridas: establecimiento y manejo. Biblioteca Básica de Agricultura. Texcoco, Edo. Mex., México.

# Evaluación de chile habanero (*Capsicum chinense*) a diferentes distancias de siembra en invernadero

## Evaluation of habanero chile (*Capsicum chinense*) at different planting distances in greenhouse



Ana María Sangabriel<sup>\*1</sup> y Julia Aurora Montano<sup>2</sup>

<sup>\*1</sup>Alumna del posgrado de la Facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana. Especialización en métodos estadísticos. e-mail: anitasangab@gmail.com [\*Autor responsable]. <sup>2</sup>Julia Aurora Montano Rivas. Facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. julmontano@uv.mx

### RESUMEN

La presente investigación se realizó con el interés de evaluar el rendimiento de tres variedades del chile habanero *Capsicum chinense*: naranja, rojo dzinantum y Uxmal, que se sembraron en un invernadero a tres diferentes distancias entre plantas: 50 cm, 60 cm y 70 cm. Para conocer el comportamiento de las plantas durante su desarrollo y producción, se consideraron las siguientes variables: altura de la planta, grosor del tallo, número de frutos y rendimiento. En el trabajo se utilizó un diseño experimental factorial 3<sup>2</sup> completamente al azar con dos repeticiones, en un invernadero de la Unidad de Capacitación para el Desarrollo Rural (Uncader N° 2), ubicado en la región de Coatepec, Veracruz. Como resultado se obtuvieron estadísticas descriptivas, gráficos comparativos, análisis de varianza para el experimento factorial; además, se probaron las hipótesis planteadas y se evaluó el efecto del muestro aplicado, con la finalidad de analizar el rendimiento e identificar la mejor combinación: variedad y distancia de siembra, además de conocer el comportamiento de las plantas a través del tiempo, lo que dio como resultado que la variedad Uxmal registrara mayor rendimiento.

**Palabras clave:** diseño factorial, error de muestreo y rendimiento

### ABSTRACT

The present research was carried out with the aim of evaluating the yield of habanero chilli from three varieties (Orange, dzinantum Red and Uxmal) planted at three different distances between plants (50 cm, 60 cm, and 70 cm) and to know the behavior of the plants during their development and production, considering the following variables in the study: plant height, plant stem thickness, number of fruits and yield. To respond to the study objective, a completely randomized 3<sup>2</sup> factorial experimental design with 2 replicates was carried out in a greenhouse conditions at the Rural Development Training Unit (Uncader N° 2) located in Coatepec, Veracruz, México. Descriptive statistics, comparative graphs and analysis of variance for the factorial experiment were carried out; several hypotheses were tested and the effect of the applied sample was evaluated with the purpose of analyzing the yield and identifying the best combination (variety and planting distance) and to assess the behavior of the plants through time; results show that Uxmal variety was the one with the highest yield.

**Key words:** factorial design, sampling error and yield

## INTRODUCCIÓN

Los chiles son originarios de los trópicos de América. Se cultivan ampliamente para su uso como especies o verduras tanto en las zonas tropicales como en las templadas (Cruz, 2001). *Capsicum* es un género de plantas angiospermas, dicotiledóneas, nativo de las regiones tropicales y subtropicales de América, y pertenecen a la familia de las solanáceas (Nieves *et al.*, 2009).

Hoy en día, el país con mayor biodiversidad de chile en el mundo es México. De acuerdo con el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (Sinarefi, 2006), México cuenta con 64 variedades distintas a lo largo de su territorio (Cuadro 1). El chile habanero, de los más picantes del país, es el único que tiene denominación de origen en la península de Yucatán, donde los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo son expertos en su cultivo y uso, pues la mayoría de sus platillos tradicionales se acompañan de este producto, ya sea fresco, crudo, asado o cocido. Este chile es una planta de ciclo anual que puede alcanzar hasta 12 meses de vida, dependiendo del manejo agronómico, y tiene una altura promedio que oscila entre 75 y 120 cm (Cruz, 2001), según el tipo o variedad de que se trate.

La región de Coatepec, en el estado de Veracruz, es eminentemente productora de café; no obstante, en los últimos años este cultivo ha atravesado por una grave crisis en cuanto a los ingresos económicos, lo que ha repercutido en el abandono de fincas y

la migración de los productores agrícolas a las zonas urbanas. Ante tales circunstancias, en la actualidad la Uncader considera la siembra de chile habanero una alternativa para los cafecultores, por lo que decidió experimentar con tres variedades del chile habanero *Capsicum chinense* para que lo conozcan, e invitar a quienes se interesen a que lo siembren.

El nombre específico *chinense* se debe al taxónomo francés Jacquin, quien lo denominó así en 1776, debido a que obtuvo semillas del cultivo en China (Long-Solís, 1998). Hallazgos arqueológicos de la cultura Chavín en la costa de Perú en el año 1200 a.C., indican que este chile es muy antiguo (León, 1987).

En este estudio se utilizaron las variedades: rojo de dzinantum y naranja, que fueron proporcionadas por el Instituto Tecnológico de Conkal de Yucatán, además de la variedad Uxmal, la cual se siembra en la Uncader N° 2. Con el propósito de evaluar su rendimiento e identificar la distancia idónea para su mejor desarrollo, se utilizó un experimento factorial  $3^2$  completamente al azar con dos repeticiones. Cada variedad se sembró a tres diferentes distancias entre plantas, en un invernadero tipo túnel, bajo cubierta plástica. Villanueva *et al.* (2010) realizaron un estudio para determinar la capsaicina a diferentes niveles de humedad y nutrimentales, a una distancia entre plantas de 46 cm, para lo cual también utilizaron un diseño factorial  $3^2$  completamente al azar. Por otra parte, Santizo-Rincón *et al.* (2012) trabajaron en la identificación de diferentes relaciones de nitrato, amonio y tamaño de partículas de sustratos, con el objetivo de evaluar cuál es la mejor relación amonio/

**Cuadro 1.** Principales regiones productoras de chiles en México.

Región	Estado	Chile
Norte y noroeste	Chihuahua, Sinaloa, Sonora, Nayarit, Durango, Baja California Sur y sur de Tamaulipas.	Jalapeños, serranos, anchos y mulato.
Centro o bajío	Aguascalientes, Guanajuato, Puebla, San Luis Potosí, Zacatecas y Querétaro	Anchos mulatos, mulato, pasilla y guajillo.
Sur y sureste	Veracruz, Oaxaca, Campeche y Quintana Roo.	Jalapeños, serranos, costeños y habaneros.

nitrito y granulometría de sustrato para incrementar el rendimiento y calidad del fruto.

Debido a que el interés de la presente investigación fue evaluar la variable respuesta respecto a los factores de estudio, las hipótesis a probar fueron las siguientes:  $H_0$ : la distancia a la que se sembró la planta no influye en el rendimiento;  $H_1$ : la distancia a la que se sembró la planta sí influye en el rendimiento;  $H_0$ : el rendimiento obtenido por variedad es igual;  $H_1$ : el rendimiento obtenido por variedad es diferente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La Uncader se ubica en el municipio de Coatepec, Ver. y tiene un clima semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (42%); se encuentra a 1200 msnm, a 8 km al sur de la capital del estado, Xalapa, y a 20 km al este del Cofre de Perote. El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel bajo cubierta plástica, que cuenta con una superficie de 313.5 m<sup>2</sup> y un sistema de riego por goteo de gravedad; en él se encuentran distribuidas cinco camas de siembra.

### Actividad en campo

La semilla del chile se obtuvo de un experimento previo por cada variedad, la cual se colocó en un recipiente con agua y se revolvió vigorosamente para limpiarlas de los restos de pulpa y placenta adherida. Este proceso se repitió cambiando el agua de dos a tres veces. Luego, las semillas se pusieron a secar en la sombra, de 4 a 6 días.

Posteriormente se preparó el semillero en el que se utilizaron siete charolas germinadoras por cada variedad, con un sustrato que se integró con 25 kg de composta, 15 kg de arena, 15 kg de tezontle y 20 L de legía (agua con cal).

Para cumplir con el diseño experimental y con las repeticiones requeridas, las plantas se trasplantaron en un invernadero, considerando el mapa en el

que se distribuyeron las variedades con sus respectivas distancias de siembra.

El invernadero cuenta con cinco camas, de éstas tres se prepararon con estiércol de caballo para realizar el experimento. Las camas se dividieron en seis partes iguales; en ellas se marcaron las diferentes distancias de siembra en cada una de las divisiones en el acolchado.

Con la finalidad de incrementar los rendimientos y reducir pérdidas de nutrientes, un mes después del trasplante se aplicaron cinco gramos de fertilizante Nitrofoska por mateo; también se realizó la poda y el tutoreo a cada una de las plantas con el propósito de mejorar su desarrollo.

### Diseño experimental y muestreo

De acuerdo con las condiciones que se presentaron en el invernadero y a los objetivos planteados, se estableció un diseño factorial 3<sup>2</sup> completamente al azar con dos factores a evaluar: variedades de chile habanero y distancias de siembra, cada uno con tres niveles (Cuadro 2).

La unidad experimental fue la parcela que se conformó con las plantas de cada una de las tres variedades, sembradas a una de las tres distancias, por lo que en el invernadero hubo nueve parcelas con dos repeticiones, lo que hace un total de 18 parcelas.

Por ser un diseño experimental factorial, el modelo para evaluar los factores y la interacción fue:

$$\gamma_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1,2,3; \\ j = 1,2,3; \\ k = 1, \dots, n \end{cases}$$

Donde:

$\gamma_i$  = es el efecto promedio global.

$\alpha_i$  = es el efecto del factor A en su nivel i.

$\beta_j$  = representa el efecto del factor B en su nivel j.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = es el efecto de interacción de ambos factores en los niveles ij.

$n$  = es el número de repeticiones de cada tratamiento.

**Cuadro 2.** Descripción de factores.

Factores	Niveles		
Variedad de chile habanero	$a_1 = \text{Naranja}$	$a_2 = \text{Rojo}$	$a_3 = \text{Uxmal}$
Distancia de siembra	$b_1 = 50 \text{ cm}$	$b_2 = 60 \text{ cm}$	$b_3 = 70 \text{ cm}$

Para que los resultados de los análisis sean confiables, deben cumplirse los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas en los residuos.

En algunas situaciones, en la experimentación agronómica no es posible realizar la medición de todos los individuos que conforman la unidad experimental debido a su tamaño o al costo de las mediciones, por lo que se hace necesario tomar muestras de elementos que existen en cada parcela o unidad experimental. De esta manera se obtiene más de un dato por unidad experimental, sin que esto constituya una repetición.

En este caso, el proceso para obtener estos datos se denomina submuestreo. Considerando el caso más simétrico y, tal vez, el más útil, cuando se tienen  $r$  repeticiones para cada uno de los  $t$  tratamientos y se toman  $m$  muestras dentro de cada unidad experimental, se tendrán en total  $trm$  observaciones (López-Bautista *et al.*, 2014).

Con base en lo anterior, el modelo lineal apropiado para un diseño experimental completamente al azar con muestreo es:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{j(i)} + \eta_{k(ij)}$$

y para el diseño factorial descrito anteriormente es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} + \eta_{k(ij)}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = valor de la variable de respuesta correspondiente a la  $k$ -ésima muestra sobre la unidad experimental que lleva el tratamiento  $i$  en la repetición  $j$ .

$\mu$  = media general de la variable respuesta.

$\tau_i$  ( $\alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij}$ ) = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{j(i)}$  = error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental (error entre parcelas).

$\eta_{k(ij)}$  = error de muestreo dentro de la  $ij$ -ésima unidad experimental (error dentro de parcelas).

Cuando se van a realizar mediciones de los elementos del experimento, lo ideal es obtenerlas el mismo día, lo que muchas veces no es posible lograr; como en este experimento el número de elementos a medir es de 300 plantas, se consideró conveniente realizar un muestreo aleatorio estratificado (MAE), donde los estratos fueron los nueve tratamientos con dos repeticiones, con heterogeneidad entre las parcelas y dentro de ellas con condiciones homogéneas.

La fórmula para obtener el tamaño de muestra es:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i p_i q_i}{N \left( \frac{\beta^2}{Z_{\alpha/2}^2} \right) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i p_i q_i}$$

datos:  $L = 9, N=264$

$N_1=36 \quad N_2=28 \quad N_3=24 \quad N_4=24 \quad N_5=36 \quad N_6=28 \quad N_7=28 \quad N_8=24 \quad N_9=36$

$p = 0.5 \quad q = 0.5 \quad \beta = 0.10 \quad \alpha = 0.05 \quad Z_{0.05/2} = 1.96$

sustituyendo en la fórmula se obtuvo:  $n = 70.42 \approx 71$  el cálculo de tamaño de muestra resultó (esto se aplica para cada una de las parcelas):

$$n_1 = 71 \left( \frac{36}{264} \right) = 9.68 \approx 10$$

En el Cuadro 3 se reporta cuántas plantas fueron sembradas por tratamiento, por cama y en total, y cuántas fueron consideradas en el muestreo y se les dio el seguimiento.

En el Cuadro 4 brevemente se describen las variables que estudiaron en este proyecto de investigación, de acuerdo con los objetivos planteados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados producción de chile habanero *Capsicum chinense* bajo condiciones de invernadero.

En la Figura 1 se observa poca variabilidad dentro de cada tratamiento y que no son iguales, ya que la altura de las plantas de la variedad naranja a 60 cm y 70 cm es diferente respecto a las resultantes de las tres distancias de la variedad rojo.

El grosor del tallo se midió cada 15 días durante el tiempo de floración. En la Figura 2 los tratamientos 1, 5, 6 y 7 presentan mucha variabilidad. La distancia de siembra sí influyó en el grosor del tallo de la planta.

Respecto al número de frutos por variedad y distancia de siembra se tiene que la variedad Uxmal a 50 cm, respecto a la variedad rojo en las tres distancias de siembra, fueron diferentes (Figura 3). En la Figura 4 se presenta una mayor variabilidad en el rendimiento de las plantas de la variedad naranja en las tres distancias respecto a las otras. Dentro de cada variedad existe traslape entre rangos intercuartílico, por lo que su rendimiento respecto a las distancias es similar.

**Cuadro 3.** Número de plantas en las parcelas.

Tratamientos	N (Plantas sembradas)	N (Sin considerar la primera y la última de cada estrato)	N (Muestreo por parcela con 2 repeticiones)
1	40	36	10
2	32	28	8
3	28	24	6
4	28	24	6
5	40	36	10
6	32	28	8
7	32	28	8
8	28	24	6
9	40	36	10
<b>Total de plantas</b>	<b>300</b>	<b>264</b>	<b>72</b>

**Cuadro 4.** Descripción de variables.

Variable	Tipo de variable	Escala	Unidad de medida
Variedad	Cualitativa	Nominal	De clasificación
Distancia	Cualitativa	Ordinal	Centímetro (metro)
Altura de la planta	Cuantitativa	Razón	Centímetro (metro)
Grosor de tallo	Cuantitativa	Razón	Milímetro (vernier)
Número de frutos	Cuantitativa	Razón	Conteo
Rendimiento	Cuantitativa	Razón	Gramo (báscula)

Para evaluar el efecto de un muestreo, se realizó una prueba de hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_e = 0 \quad \text{vs} \quad H_a: \sigma^2_e > 0$$

la cual se respondió con el estadístico de prueba siguiente  $F_1 = \frac{CM_{ee}}{CM_{em}}$ , del cual resultó  $F_1 = \frac{1309.67}{1690.17} = 0.77487$ , que se comparó con el valor de tabla  $F_{tr(m-1)}$ ,  $\alpha = 0.05$ ,  $F_{36}^9 = 2.15$ ,

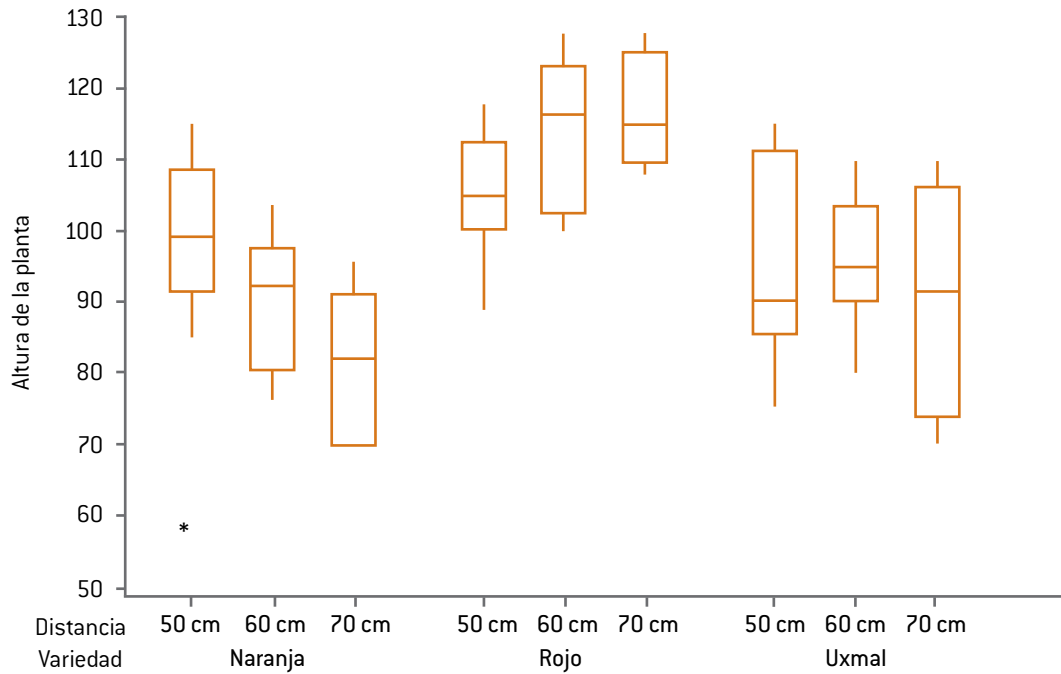
Lo que llevó a concluir  $F_1 < F_T$  que no existe evidencia significativa para rechazar  $H_0$ , es decir, la

varianza entre plantas dentro de las UE es menor que la varianza entre parcelas, lo cual indica que el muestreo no es importante en este experimento, por lo que los errores se deben mancomunar de la siguiente manera:

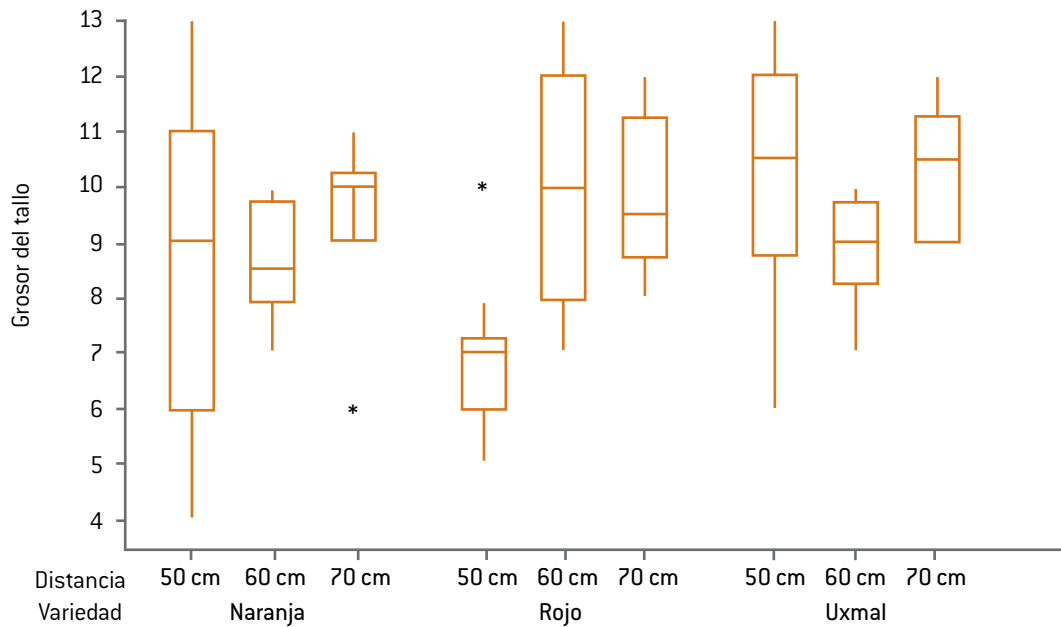
$$CM_{ep} = \frac{SC_{ee} + SC_{em}}{glee + glem}, \text{ obteniendo } CM_{ep} = 1527.09, F_2 = \frac{CM_{trat}}{CM_{ep}}$$

se compara con:  $F_{critica}(glt, glep, \alpha)$ .

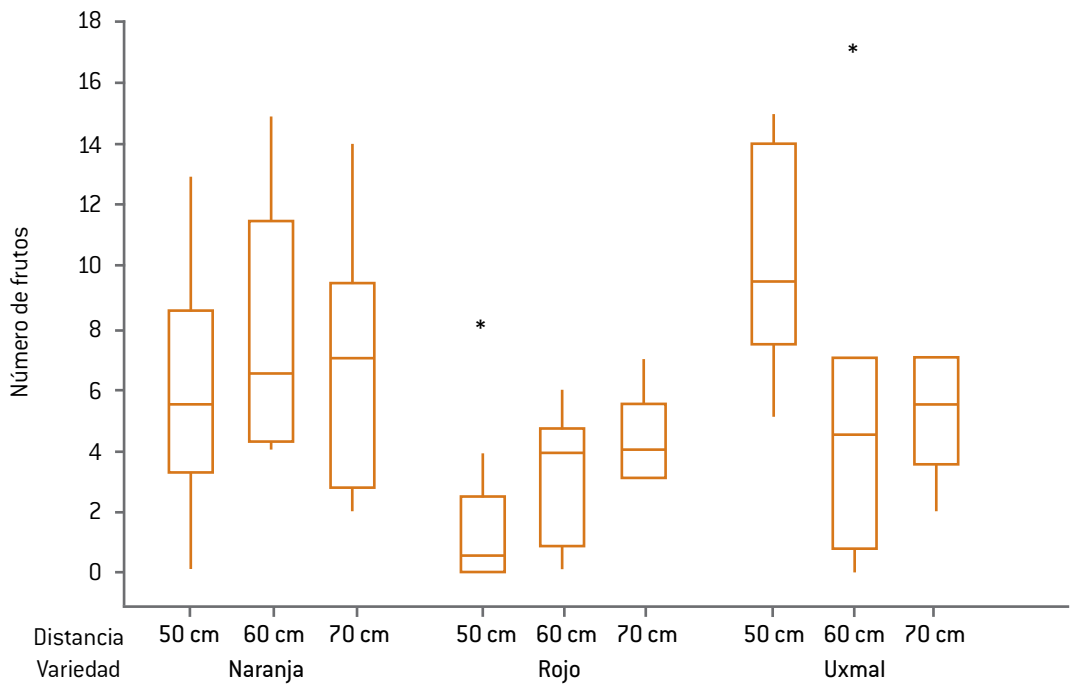
Se concluyó que en  $F_2 > F_T$  existe evidencia significativa para rechazar  $H_0$ , por lo tanto, existe diferencia entre tratamientos.



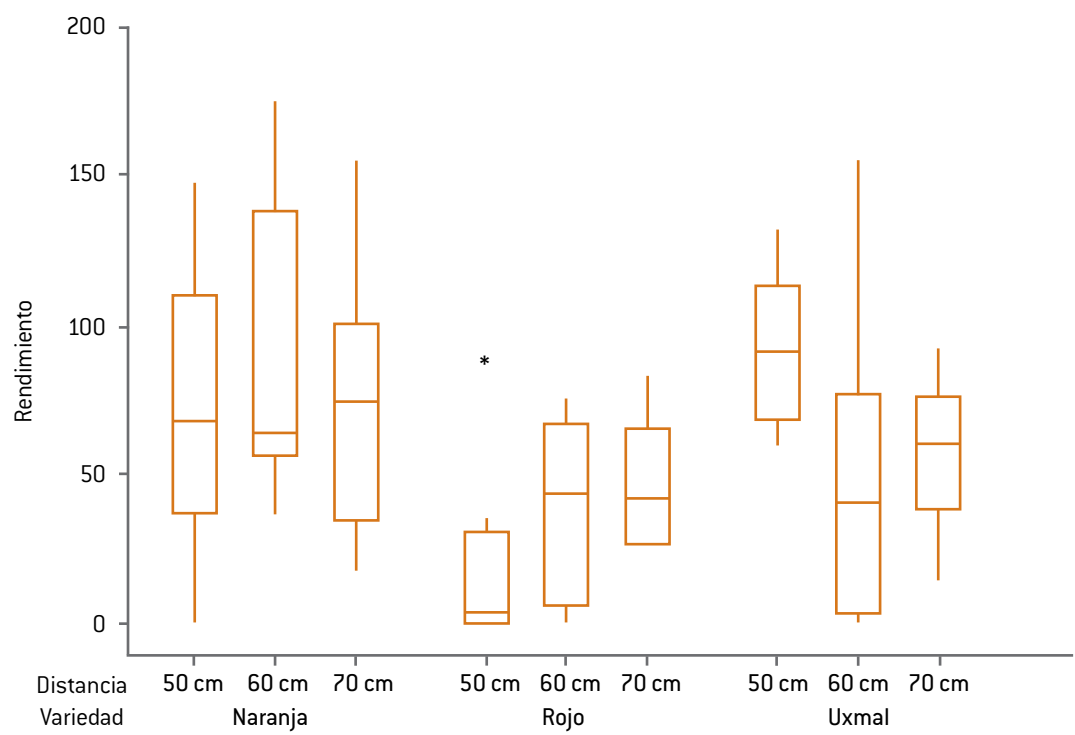
**Figura 1.** Altura final de la planta.



**Figura 2.** Grosor final del tallo de la planta.



**Figura 3.** Número de frutos.



**Figura 4.** Rendimiento obtenido.

Para conocer la variación en el experimento, se calculó el coeficiente de variación:  $CV = \frac{\sqrt{CM_{ep}}}{\bar{y}}$ ,  $CV = 65.01$ , el cual resultó alto, aunque se esperaba que fuera bajo, lo que no se debe a aspectos del control en el experimento, sino a cuestiones ambientales y de comportamiento de las plantas. Una vez explicadas las características descriptivas de los factores, variables de interés y después de haber evaluado el muestreo, se estudió el rendimiento que se obtuvo aplicando un análisis de varianza, sin considerar el muestreo, ya que éste fue no significativo.

Al obtener el análisis de varianza y para probar los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia a través de los estadísticos de prueba de Shapiro-Will, de Bartlett, y del gráfico de independencia, se muestra que los tres supuestos sí se cumplen, aunque el gráfico de normalidad presenta un dato atípico. Los análisis de varianza se interpretaron

con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.10$ , para evaluar el rendimiento en las tres cosechas por variedad y por distancia de siembra, así como el correspondiente a la altura final, los cuales se muestran a continuación.

En el Cuadro 5 se observa que el factor variedad e interacción de niveles de los factores de estudio resultaron estadísticamente significativos; el mayor rendimiento en la primera cosecha lo presenta la variedad naranja, así como la variedad Uxmal sembrada a 50 cm de distancia. Esto se puede corroborar en las comparaciones de medias y en la Figura 5.

En el Cuadro 6 se observa que el factor variedad e interacción de niveles de los factores de estudio resultaron estadísticamente significativos; el mayor rendimiento en la segunda cosecha lo presentó la variedad Uxmal a 50 cm de distancia. También se presentó un rendimiento similar en las tres variedades sembradas a 60 y 70 cm.

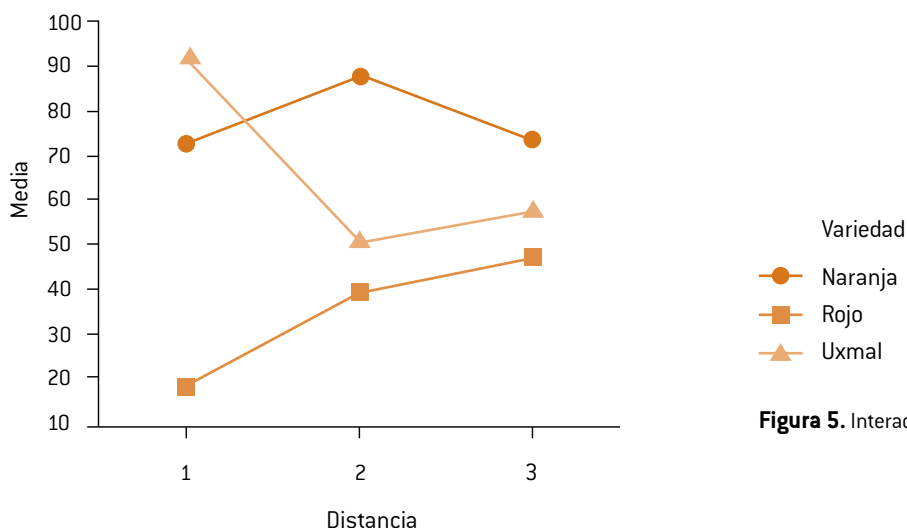


Figura 5. Interacción de rendimiento en la primera cosecha.

Cuadro 5. Análisis de varianza del rendimiento en la primera cosecha.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedad	23317	2	11658	7.63	0.001
Distancia	41	2	20	0.01	0.987
Variedad * Distancia	13546	4	3387	2.22	0.077
Error	96207	63	1527		
Total	133111	71	16592		

### Comparación de medidas

Intervalos de confianza de 95% para la media basados en la desviación estándar.

Nivel	N	Media	Desviación estándar	----- + ----- + ----- + ----- + -----
Naranja	24	78.25	47.63	[ ----- * ----- ]
Rojo	24	32.46	28.83	[ ----- * ----- ]
Uxmal	24	69.63	40.92	[ ----- * ----- ]
				----- + ----- + ----- + ----- + -----
				20      40      60      80

### Comparación de medidas

Intervalos de confianza de 95% para la media basados en la desviación estándar.

Interacción	Desviación estándar	----- + ----- + ----- + ----- + -----
Naranja-50cm	49.72	[ ----- * ----- ]
Naranja-60cm	50.12	[ ----- * ----- ]
Naranja-70cm	47.26	[ ----- * ----- ]
Rojo-50cm	28.07	[ ----- * ----- ]
Rojo-60cm	29.09	[ ----- * ----- ]
Rojo-70cm	21.97	[ ----- * ----- ]
Uxmal-50cm	27.37	[ ----- * ----- ]
Uxmal-60cm	52.75	[ ----- * ----- ]
Uxmal-70cm	26.70	[ ----- * ----- ]
		----- + ----- + ----- + ----- + -----
		0      35      70      105

**Cuadro 6.** Análisis de varianza del rendimiento en la segunda cosecha.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedad	9633.1	2	4816.5	5.74	0.005
Distancia	1259.4	2	629.7	0.75	0.476
Variedad * Distancia	16462.7	4	4115.7	4.90	0.002
Error	52865.4	63	839.1		
Total	80220.6	71	10401		

Esto se puede corroborar en las comparaciones de medias y en Figura 6 de interacción.

En el Cuadro 7 el factor variedad e interacción de niveles de los factores de estudio resultaron estadísticamente significativos; el mayor rendimiento en la tercera cosecha lo presentó la variedad naranja a 60 cm y Uxmal a 70 cm. Esto puede probarse en la comparación de medias y en la Figura 7 de interacción.

En el Cuadro 8 se observa que el factor variedad e interacción de niveles de los factores de estudio resultaron estadísticamente significativos; la mayor altura final de la planta la presentó la variedad rojo a una distancia de 70 cm, y de igual manera para la distancia de 50 y 60 cm. Esto se puede corroborar en las comparaciones de medias y en la Figura 8 de interacción.

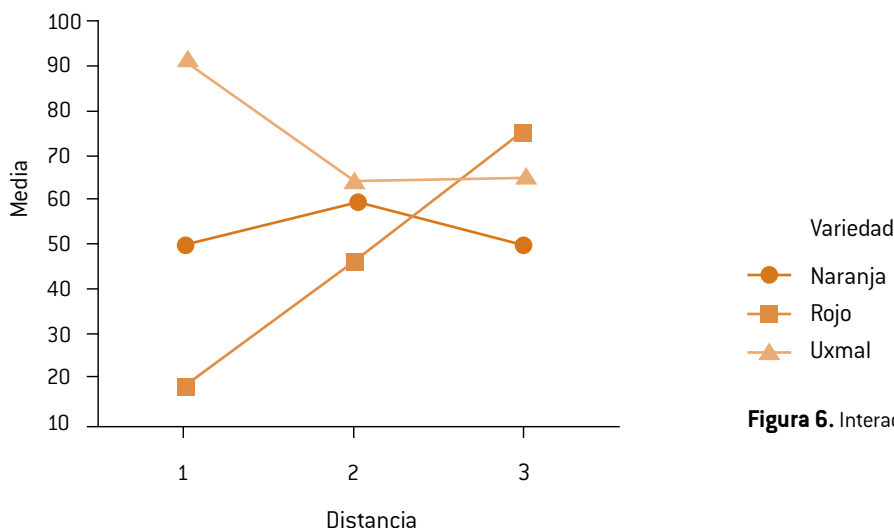


Figura 6. Interacción de rendimiento en la segunda cosecha.

Comparación de medidas				
Intervalos de confianza de 95% para la media basados en la desviación estándar.				
Nivel	N	Media	Desviación estándar	----- + ----- + ----- + ----- + -----
Naranja	24	53.12	25.07	{ ----- * ----- }
Rojo	24	41.71	37.23	{ ----- * ----- }
Uxmal	24	76.46	32.48	{ ----- * ----- }
				----- + ----- + ----- + ----- + -----
				32      48      64      80

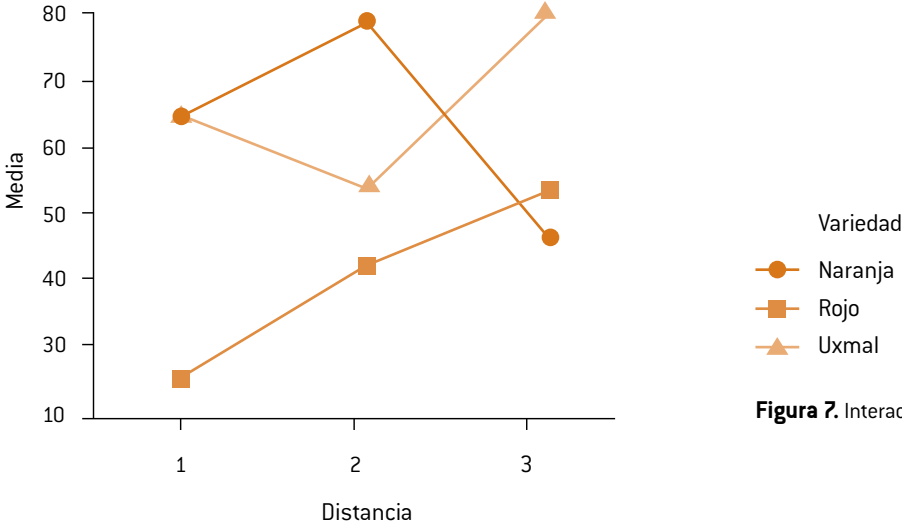
**Comparación de medidas**  
Intervalos de confianza de 95% para la media basados en la desviación estándar.

Interacción	Desviación estándar	-- + ----- + ----- + ----- + -----
Naranja-50cm	34.10	{ ----- * ----- }
Naranja-60cm	15.21	{ ----- * ----- }
Naranja-70cm	19.32	{ ----- * ----- }
Rojo-50cm	23.47	{ ----- * ----- }
Rojo-60cm	29.66	{ ----- * ----- }
Rojo-70cm	39.49	{ ----- * ----- }
Uxmal-50cm	32.01	{ ----- * ----- }
Uxmal-60cm	33.09	{ ----- * ----- }
Uxmal-70cm	24.98	{ ----- * ----- }

-----  
0                    35                    60                    90

**Cuadro 7. Análisis de varianza del rendimiento en la tercera cosecha.**

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedad	9291.0	2	4645.5	7.06	0.002
Distancia	1002.9	2	501.5	0.76	0.471
Variedad * Distancia	8559.2	4	2139.8	3.25	0.017
Error	41436.7	63	657.7		
Total	60289.8	71	7944.5		



**Figura 7.** Interacción de rendimiento en la tercera cosecha.

### Comparación de medidas

Intervalos de confianza de 95% para la media basados en la desviación estándar.

Nivel	N	Media	Desviación estándar	----- + ----- + ----- + ----- + -----
Naranja	24	65.08	30.63	{ ----- * ----- }
Rojo	24	38.00	23.45	{ ----- * ----- }
Uxmal	24	64.96	27.01	{ ----- * ----- }
				----- + ----- + ----- + ----- + -----
				30      45      60      75

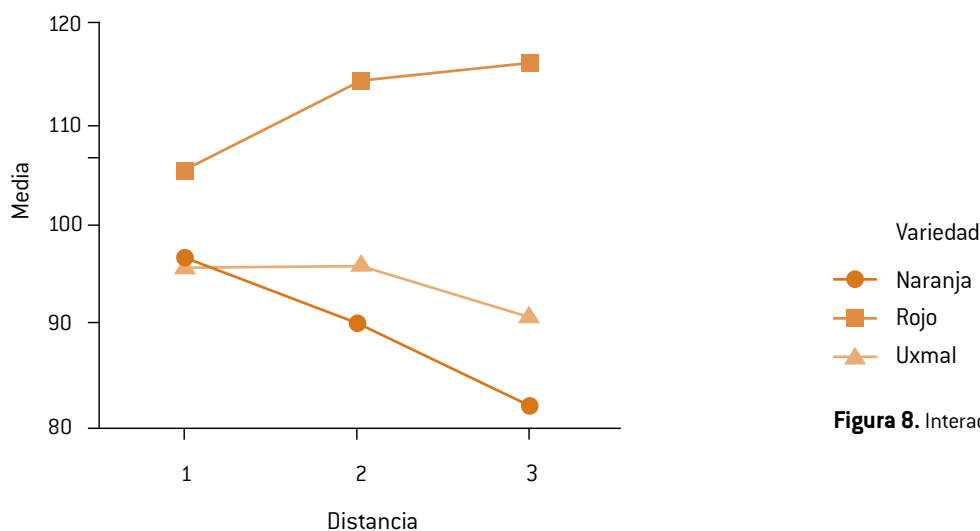
### Comparación de medidas

Intervalos de confianza de 95% para la media basados en la desviación estándar.

Interacción	Desviación estándar	----- + ----- + ----- + ----- + -----
Naranja-50cm	32.98	{ ----- * ----- }
Naranja-60cm	23.15	{ ----- * ----- }
Naranja-70cm	29.24	{ ----- * ----- }
Rojo-50cm	22.25	{ ----- * ----- }
Rojo-60cm	20.20	{ ----- * ----- }
Rojo-70cm	20.22	{ ----- * ----- }
Uxmal-50cm	28.44	{ ----- * ----- }
Uxmal-60cm	20.49	{ ----- * ----- }
Uxmal-70cm	28.47	{ ----- * ----- }
		----- + ----- + ----- + ----- + -----
		25      50      75      100

**Cuadro 8.** Análisis de varianza de la altura final de la planta.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedad	6588.3	2	3294.1	22.70	0.000
Distancia	166.5	2	83.2	0.57	0.566
Variedad * Distancia	1409.7	4	352.4	2.43	0.057
Error	9143.3	63	145.1		
Total	17307.8	71	3874.8		



**Figura 8.** Interacción de la altura final de la planta.

Comparación de medidas				
Intervalos de confianza de 95% para la media basados en la desviación estándar.				
Nivel	N	Media	Desviación estándar	
Naranja	24	90.75	14.00	{ ..... * ..... }
Rojo	24	111.17	10.21	{ ..... * ..... }
Uxmal	24	94.38	12.87	{ ..... * ..... }
				88.0      96.0      104.0      112.0

Comparación de medidas		
Intervalos de confianza de 95% para la media basados en la desviación estándar.		
Interacción	Desviación estándar	
Naranja-50cm	16.30	{ ..... * ..... }
Naranja-60cm	9.63	{ ..... * ..... }
Naranja-70cm	11.13	{ ..... * ..... }
Rojo-50cm	8.82	{ ..... * ..... }
Rojo-60cm	10.57	{ ..... * ..... }
Rojo-70cm	7.89	{ ..... * ..... }
Uxmal-50cm	13.98	{ ..... * ..... }
Uxmal-60cm	9.82	{ ..... * ..... }
Uxmal-70cm	15.86	{ ..... * ..... }
		75      90      105      120

## CONCLUSIONES

La mayor altura de las plantas la presentó la variedad rojo dzinantum. La variedad naranja es una planta más pequeña, con una altura promedio de 80 cm, cuyos frutos maduran más rápido en comparación con los de la variedad rojo dzinantum. La variedad Uxmal, que es una planta muy precoz, presentó una altura promedio de 90 cm y una producción mayor de frutos en las tres cosechas, con un rendimiento superior en la segunda y tercera. El mayor grosor del tallo de una planta se obtuvo en la menor distancia de siembra entre planta.

En este trabajo se demostró que las tres variedades de chile habanero presentan diferencias en su rendimiento, pero la distancia por sí sola no fue relevante; sin embargo, la interacción entre la variedad de chile habanero y la distancia de siembra sí presentó resultados diferentes en el rendimiento de las plantas.

La distancia de siembra fue un factor que influyó en el grosor del tallo de la planta en las tres variedades, ya que se presentó un mayor grosor en el tallo a una menor distancia de siembra (50 cm); sin embargo, como ya se mencionó anteriormente no fue significativo para el rendimiento.

Para este diseño experimental, el haber muestreado no fue relevante en los análisis.

## LITERATURA CITADA

- CARO-ENCALADA, M., Leyva-Morales, C. y Ríos-Santana, J. (2014). Competitividad mundial de la producción de chile verde de México.
- EL HOLANDÉS PICANTE (2014). Habanero Magnum Naranja. Épsilon Digital, México. Recuperado de <http://elholandespicante.com/plantas/chiles-y-ajies/habanero-magnum-naranja/>
- GUTIÉRREZ-PULIDO, H. y De la Vara-Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos (2ª. edición). México: McGraw-Hill.
- JURADO, R. A., Nieto, M. N. (2003). El cultivo de pimiento bajo invernadero. Técnicas de producción de en cultivos protegidos (coord. Ferre, F.). Instituto de Estudios de Cajamar, España. 541-563
- LEÓN, J. (1987). Botánica de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica.
- LONG-SOLÍS, J. (1998). *Capsicum* y cultura: la historia del chile (2ª. edición). Fondo de Cultura Económica. México. 77-78.
- LÓPEZ, Bautista, E. A. y González, Ramírez, B.H. (2014). Diseños y análisis de experimentos. Fundamentos y aplicaciones en agronomía. Segunda revisión. Guatemala.
- MENDOZA, Z. C. (1996). Enfermedades fungosas de hortalizas. Universidad Autónoma de Chapingo. Parasitología Agrícola. México. 85.
- MONTES, S., Ramírez, M., Villalón, H., Medina, T., M., Morales, A., Heredia, E., Soto, J. M., López de L., R., Cardona, A. y Martínez, H. L. (2006). Conservación y aprovechamiento sostenible de chile silvestre (*Capsicum spp.*, *Solanaceae*) en México. (Eds. López, L. P y Montes, S.). Avances de investigación de la red de hortalizas del Sinarefi. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México. 71-134.
- NIEVES, M. y Vela, E. (2009). Arqueología Mexicana (Ed. especial). México, 12, 7-32.
- SANTIZO-RINCON, J.A., Tucuch-Hass, J., Alcántara-González, G., Ordaz-Chaparro, V.M. y Larqué-Savedra, A. (2012). Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense*). Con diferentes relaciones NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub> y tamaño de partícula de sustratos.
- TUN DZUL, de la Cruz, J. (2001). Chile Habanero, características y tecnología de producción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Inifap produce. Yucatán, México.
- VILLANUEVA-COUOH, E., Borges-Gómez, L., Cerbantes-Cárdenas, L., Ruiz-Novelo, J., Soria-Fregoso, M. y Reyes-Oregel, V. (2010). Capsaicinoides en habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición.

# Exploración genética y reconstitución de una población de maíz enano

## Genetic exploration and reconstitution of a dwarf maize population

Eduardo Hernández-Alonso<sup>1</sup>, Humberto de León-Castillo<sup>2</sup>, Víctor Manuel Zamora-Villa<sup>2</sup>, Luis Hernández-San Juan<sup>3</sup>, Cirilo Cahuare-Ramos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento, <sup>2</sup>Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista. CP 25315. Saltillo, Coah. <sup>3</sup>DuPont Pioneer, Carretera Guadalajara-Morelia Km. 21, Poblado de Nicolás R. Casillas, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. CP 45645. México. e-mail: eduardoalonso0821@gmail.com [\*Autor responsable].

### RESUMEN

En esta investigación se evaluaron 20 híbridos simples de maíz enano y sus parentales generados mediante la estrategia sugerida por el modelo II, método I de Griffing, con los propósitos de: i) estimar los tipos de acción génica y la heredabilidad exhibida en las variables estudiadas en este grupo germoplásmico, ii) Identificar cruas simples de fenotipo parecido, para seleccionar al menos diez que puedan recombinarse para generar una variedad sintética, y iii) Conformar poblaciones de cruas simples complementarias que sean útiles para derivación de nuevas líneas de maíz enano. El análisis dialélico se sometió a ensayos de rendimiento, que se evaluaron en cuatro ambientes durante los años 2015 y 2016, en el cual cada unidad experimental consistió en un surco de 3 m a 110,000 plantas ha<sup>-1</sup>. Los resultados del análisis combinado indicaron que, en lo general, los efectos del tipo aditivo para el conjunto de variables evaluadas fueron de más importancia. Para la identificación de cruas simples complementarias se utilizó la metodología de índices de selección, con la que se detectaron como superiores los híbridos 20, 4 y 25, que se emplearán para derivar nuevas líneas enanas expectativamente superiores; estas cruas simples, junto a otras ocho, se utilizarán para formar una nueva variedad sintética de maíz enano.

**Palabras clave:** heredabilidad, acción génica, dialélico, germoplasma enano

### ABSTRACT

Twenty simple hybrids of dwarf maize and their parents generated by the strategy suggested by the method I model II of Griffing, were evaluated, with next objectives i) estimating the types of gene action and heritability exhibited in the variables studied in this germplasmic group ii) identify simple crosses of similar phenotype, to select at least 10 that can be recombined to generate a synthetic variety and iii) form populations of complementary simple crosses that these are useful for derivation of new lines of dwarf maize. The diallelic was subjected to yield trials, they were evaluated in four environments during years 2015 and 2016. Each experimental unit consisted in 3 m furrows with 110,000 plants ha<sup>-1</sup>. The results of the combined diallelic analysis indicated that, in general, the effects of the additive type were more important for the set of evaluated variables. As for complementary simple cross identification, index selection methodology was used, detecting hybrids 20, 4 and 25 as superior. These hybrids will be used to derive new dwarf lines; these simple crosses with eight others will be used to form a new synthetic variety of dwarf maize.

**Key words:** heritability, gene action, diallelic, dwarf germplasm

## INTRODUCCIÓN

Debido a que la demanda del grano de maíz en México no se satisface plenamente, es necesario realizar más estudios sobre mejoramiento genético, ya que esta estrategia ha demostrado ser más eficiente que otras para lograr incrementar la producción por unidad de superficie, entre otras cosas, porque el productor no hace desembolsos extras. Al hacer uso de estos materiales se busca que los elementos del ambiente no limiten su desarrollo, lo que aumenta las posibilidades de obtener mayor rendimiento, incluso mayor al de las variedades locales.

Las plantas de maíz enano constituyen un importante grupo germoplásmico dentro del programa de mejoramiento de El Bajío, del Instituto Mexicano del Maíz (IMM), las cuales se caracterizan por tener una alta respuesta heterótica al cruzarse con individuos de poblaciones de altura normal y de origen tropical. Su conformación fenotípica les permite soportar altas densidades de siembra, así como responder favorablemente a la aplicación de insumos agrícolas. Fenotípicamente se reconocen por poseer entrenudos muy cortos debajo de la mazorca, tendencia a la prolificidad en el número de mazorcas por planta, hojas breves y erectas, espigas abiertas y grano profundo, cuyas características van desde dentado a semicristalino (De León *et al.*, 2005).

En programas de mejoramiento genético es deseable contar con el conocimiento genético de las poblaciones de fundación, ya que, para la elección del esquema de mejoramiento, es necesario conocer el tipo de herencia o acción génica específica para caracteres cuantitativos de interés agronómico, y una opción para lograrlo es siguiendo los diseños de apareamiento propuestos por Griffing (1956) (Peyman *et al.*, 2009).

Entre los diseños de apareamiento sobresalen los dialélicos, que permiten estimar la cuantía de la varianza aditiva y la de dominancia en la gobernación del comportamiento de las variables, así como los efectos de aptitud combinatoria, recíprocos y maternos de los progenitores; también permiten conocer la heterosis de los cruzamientos (De León, 2005; Coutiño *et al.*, 2010 y De La Cruz *et al.*, 2009).

La idea central de este trabajo de investigación es desarrollar una población alternativa de maíces enanos con una serie de atributos superiores: sanidad, rendimiento, precocidad, además de otros, a los enanos tradicionalmente manejados en el IMM, y

disponer de mejor germoplasma para programas de hibridación o de selección recurrente, con altas expectativas de que sus productos sean empleados por productores de la región denominada sub-trópico; además de cumplir con los propósitos de: i) estimar los componentes genéticos exhibida en las variables estudiadas en este grupo germoplásmico, ii) Identificar cruza simples de fenotipo parecido, sobre todo en altura de planta, precocidad, sanidad y rendimiento para seleccionar –al menos 10– que puedan recombinarse para generar una variedad sintética, y iii) Conformar poblaciones de cruza simples complementarias que sean útiles para derivación de nuevas líneas de maíz enano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético que se utilizó en esta investigación constó de cinco líneas élite de maíz de porte enano, con avanzado grado de endogamia y sus cruza directas y recíprocas, pertenecientes al programa de mejoramiento de El Bajío, del Instituto Mexicano del Maíz (IMM), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los cruzamientos del dialélico entre las líneas enanas se realizaron en el campo del Instituto Mexicano del Maíz durante el ciclo P-V del 2014, de las que se obtuvieron las cruza simples posibles.

En el 2015 se incorporaron dos líneas más al grupo, con el fin de tener una mayor cantidad de cruza simples; sin embargo, por cuestiones no controlables, sólo se obtuvieron 32 cruza y sus parentales.

La siembra de los ensayos de rendimiento se realizó en los campos directos de la Universidad. En 2015, la siembra de las cruza y sus parentales en el primer y segundo ambiente se realizó el 4 de abril y 12 de mayo, respectivamente; en 2016, la siembra de las cruza y sus parentales en el tercer y cuarto ambiente se realizó el 3 de marzo y el 8 de abril, respectivamente. Los experimentos se establecieron bajo un diseño de bloques al azar con arreglo alfa látice (0,1), con dos repeticiones por ambiente. La parcela experimental consistió en un surco de 3.84 m de largo, donde se sembraron 33 semillas espaciadas a 11.6 cm. El espaciamiento entre surcos fue de 0.80 m, lo que dio una densidad de 110,000 plantas ha<sup>-1</sup>.

La fertilización total fue 240-100-100: al momento de la siembra se aplicó 120-100-100, y el resto al primer cultivo. El control de malezas se realizó de forma química, con el ingrediente activo Atrazina, cuyo nombre comercial es Gesaprim Calibre 90. Para

controlar el gusano cogollero se aplicó el producto Proclaim 5GS, con ingrediente activo Benzoato de Emamectina, y para controlar daños foliares durante el desarrollo vegetativo se aplicó el producto Topgard 75 WP, con ingrediente activo Cyromazina al 75%. La parcela útil se cosechó de forma manual y posteriormente se registró el peso de campo. Para hacer una muestra representativa y así poder determinar el porcentaje de humedad y el peso hectólitrico, se realizó el desgrane de cada parcela.

Las variables de estudio fueron: días a floración masculina y femenina (DFM, DFF); altura de planta y de mazorca (AP, AM); porcentaje de plantas con acame de raíz y tallo (AR y AT); porcentaje de plantas con mala cobertura (MC); porcentaje de plantas con *Fusarium* ssp. (FUS); calificación de planta (CP); calificación de mazorca (CM); porcentaje de humedad de grano (HUM); peso hectólitrico (PHL); rendimiento de mazorca en t ha<sup>-1</sup> al 15.5 % de humedad (REND).

### Análisis estadístico

El análisis de componentes genéticos y la estimación de heredabilidad se realizó a través de los cuatro ambientes mediante el modelo II, método III de Griffing 1956, con la rutina computacional DIALLEL-SAS05, propuesto por Zhang *et al.* (2005). Cuyo modelo genético se presenta a continuación:

$$Y_{ijklm} = \mu + A_i + R_{j(i)} + g_k + g_l + s_{kl} + m_m + Ag_{ik} + Ag_{il} + As_{ikl} + Am_{im} + E_{ijklm}$$

Donde:

$Y_{ijklm}$  = Variable de respuesta;

$\mu$  = Efecto de la media general;

$A_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo ambiente;

$R_{j(i)}$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición dentro del  $i$ -ésimo ambiente;

$g_k$  = Efecto de la aptitud combinatoria general del padre  $k$ ;

$g_l$  = Efecto de la aptitud combinatoria general del padre  $l$ ;

$s_{kl}$  = Efecto de la aptitud combinatoria específica de los padres  $k$  y  $l$ ;  $m_m$  = Efecto recíproco;

$Ag_{ik}$  = Efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo ambiente y la aptitud combinatoria general del padre  $k$ ;

$Ag_{il}$  = Efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo ambiente y la aptitud combinatoria general del padre  $l$ ;

$As_{ikl}$  = Efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo am-

biente y la aptitud combinatoria específica de los padres  $k$  y  $l$ ;

$Am_{im}$  = Efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo ambiente y el efecto recíproco, y

$E_{ijklm}$  = Error experimental.

Para la estimación de la ACG, ACE y ER se empleó el análisis dialélico de Griffing (1956) mediante el modelo II, método I, con el que se examinaron las líneas parentales, para las cruza  $F_1$  directas y recíprocas, se utilizó el programa DIALLEL-SAS05 propuesto por Zhang *et al.* (2005), que permite la división de los efectos recíprocos (ER), en efectos maternos (EM) y no maternos (ENM).

Con base en el análisis de varianza combinado (Cuadro 2) y a partir de los cuadrados medios de este, se calculó  $\sigma_A^2$ ;  $\sigma_D^2$ ;  $\sigma_F^2$  y la heredabilidad en sentido estrecho:

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_F^2}$$

Además, se realizó el cálculo del grado promedio de dominancia descrito por Comstock y Robinson (1952):

$$\bar{d} = \sqrt{\frac{2\sigma_D^2}{\sigma_A^2}}$$

Una vez estimados los componentes genéticos, el siguiente paso fue la elección de las cruza simples con comportamiento similar para formar el sintético, así como la identificación de cruza simples complementarias que sirvan como poblaciones para la derivación de líneas enanas superiores. Se utilizó un índice de selección propuesto por Barreto *et al.* (1991).

El primer paso para elección confiable fue tratar de construir el índice de selección óptimo con al menos tres variables agronómicas representativas de interés: i) componentes de rendimiento, ii) componentes fitosanitarios y iii) porte de plantas, para lo cual fue necesario conocer el agrupamiento natural entre las trece variables evaluadas, por lo que primero se realizó un análisis para explorar las tendencias naturales de agrupamiento entre ellas, es decir, aquellas que se ubicaron en el mismo cuadrante tienen una asociación natural.

Para visualizar la agrupación natural que existe entre las variables y con el fin de seleccionar la variable más representativa de cada sector, tomando en cuenta la heredabilidad del carácter, se empleó el Gráfico Biplot. Para lograrlo fue necesaria la estan-

**Cuadro 1.** Estructura del análisis genético combinado a través de ambientes del modelo II, método III de Griffing.

Fuentes de variación	G.I.	CM	ECM
Ambientes (AMB)	a-1		
Repeticiones (REP)	a(r-1)		
Híbrido (HIB)	p(p-1)		
ACG	p-1	M12	$\sigma_e^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2) \sigma_{sa}^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2) / \sigma_s^2 + 2rp\sigma_{ga}^2 + 2rp/\sigma_g^2$
ACE	p(p-3)/2	M11	$\sigma_e^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2) \sigma_{sa}^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2) / \sigma_s^2$
ER	p(p-1)/2	M10	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2r/\sigma_r^2$
EM	p-1	M9	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2r/\sigma_r^2 + 2rp + 2rp\sigma_{ma}^2 + 2rp/\sigma_m^2$
ENM	(p-1)(p-2)/2	M8	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2r/\sigma_r^2$
HIB*AMB	p(p-1)(a-1)	M7	$\sigma_e^2 + r\sigma_{ha}^2$
ACG*AMB	(p-1)(a-1)	M6	$\sigma_e^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2) \sigma_{sa}^2 + 2r\sigma_{ga}^2$
ACE*AMB	p(p-3)(a-1)/2	M5	$\sigma_e^2 + 2r((p^2-p+1)/p^2) \sigma_{sa}^2$
ER*AMB	p(p-1)(a-1)/2	M4	$\sigma_e^2 + 2r \sigma_{ra}^2$
EM*AMB	(p-1)(a-1)	M3	$\sigma_e^2 + 2r \sigma_{ra}^2 + 2rp\sigma_{ma}^2$
ENM*AMB	(p-1)(p-2)(a-1)/2	M2	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2$
Error	{p(p-1)}{a(r-1)}	M1	$\sigma_e^2$

G.I.= Grados de libertad; ACG= Aptitud Combinatoria General; ACE= Aptitud Combinatoria Especifica; ER= Efectos Recíprocos; EM= Efectos Maternos; ENM= Efectos No Maternos; CM= Cuadrados Medios; ECM= Esperanza de Cuadrados Medios.

darización de los datos que se encuentran en diferentes unidades: días, %, t ha<sup>-1</sup>, cm, etc., ya que es requisito primordial para la utilización de este análisis (Crossa *et al.*, 2000).

Una vez realizada la estandarización de las trece variables, se procedió a su acomodo en una tabla de contingencia, donde los genotipos conformaron las filas y las variables fueron las columnas; de esta forma se analizó el modelo AMMI para generar el gráfico Biplot, cuya rutina fue propuesta por Vargas y Crossa, 2000.

Modelo lineal AMMI:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = comportamiento del  $i$ -ésimo genotipo en la  $j$ -ésima variable;

$\mu$  = media general;

$g_i$  = efecto del  $i$ -ésimo genotipo;

$e_j$  = efecto de la  $j$ -ésima variable;

$\lambda_k$  = raíz cuadrada del vector característico del  $k$ -ésimo eje del ACP;

$\alpha_{ik}$  = calificación del ACP para el  $k$ -ésimo eje del  $i$ -ésimo genotipo;

$\gamma_{jk}$  = calificación del ACP para el  $k$ -ésimo eje de la  $j$ -ésima variable;

$R_{ij}$  = residual del modelo con  $\sim \text{DNI} \left( \frac{\sigma^2}{r} \right)$ .

### Índices de selección

Una vez identificado el agrupamiento natural, se llevó a cabo la identificación de los genotipos sobresalientes con base en su representatividad y he-

redabilidad visualizadas en cada cuadrante, para lo cual se consideraron cuatro variables agronómicas: rendimiento (REND), altura de mazorca (AM), días a floración masculina (DFM), porcentaje de plantas con *Fusarium* ssp. (FUS). A partir de lo anterior, se utilizó el método de índices de selección (IS) desarrollado por Barreto *et al.* (1991), el cual se basa en la selección simultánea de varios caracteres, cuya fórmula se describe a continuación:

$$IS = \frac{[(Y_i - M_j)^2 * I_k] + [(Y_i - M_j)^2 * I_k] + \dots + [(Y_i - M_j)^2 * I_k]}{2}$$

Donde:

IS= Es el índice de selección;

$Y_i$  = es la variable en unidades Z;

$M_j$  = Es la meta deseada para cada variable, también en unidades Z;

$I_k$  = Es la intensidad de selección para cada variable.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio existieron diferencias altamente significativas al ( $P \leq 0.01$ ) en la fuente de variación de ACG para todas las variables; estas diferencias se pueden atribuir a la base genética de donde se derivaron los progenitores, los cuales han pasado por varios ciclos de selección recurrente.

En el Cuadro 3 se presentan a detalle, por progenitor, los efectos de ACG para los caracteres evaluados, en los que se destaca lo siguiente: para hacer cruza complementarias entre líneas del mismo grupo heterótico, la línea 0101 puede ser buena donadora para los siguientes efectos: AP, AM, FUS, CP, CM, REND y HUM. La línea 0102 sólo puede aportar efectos de AP, lo cual indica que es la que menores aportaciones hace a nuestro grupo heterótico. La línea 0103 tiene efectos que pueden ser explotados para DFM, DFF, AP, MC y HUM; sin embargo, a pesar de que tiene buenos efectos, tiende a disminuir la CP, CM y REND, que son de mayor importancia para el programa de mejoramiento enfocado al aumento de rendimiento. La línea 0104 se considera buena en cuanto a su precocidad y obtiene las plantas más sanas en relación al FUS; es una de las líneas que tiene aportaciones no favorables respecto a las variables CP, CM y REND. La línea 0105 tiende a reducir la AM y FUS, a aportar buenos efectos para CP y CM, y tiene un efecto positivo para el REND.

La elección de progenitores que darán paso a la generación de híbridos sobresalientes, tiende a llevar

a los de mejores efectos genéticos involucrados en cada uno de los grupos heteróticos, para así poder explotar el germoplasma de una manera más eficiente.

La aptitud combinatoria específica (ACE) mostró efectos altamente significativos a ( $P \leq 0.01$ ) y significativos a ( $P \leq 0.05$ ) para las variables DFM, DFF, AM, MC y PHL, es decir, la variabilidad genética no aditiva para estos caracteres fue importante. Para el efecto de ACE, los datos del Cuadro 3 indican que sólo 9% presenta efectos significativos. Los pocos efectos de ACE se deben a que las líneas pertenecen al mismo grupo heterótico.

Si bien estas líneas pertenecen al mismo grupo heterótico, no era de esperarse tal respuesta en los cruzamientos. Reyes *et al.* (2004) mencionan que se espera que los cruzamientos con mayor ACE resulten al cruzar al menos dos líneas diferentes, sin importar sus efectos ACG. En el presente estudio se encontró que los progenitores con efectos bajos o negativos de ACG produjeron buenos cruzamientos. Guillen *et al.* (2009) obtuvieron resultados similares al cruzar progenitores con ACG negativa, ya que obtuvieron cruza con valores positivos de ACE.

Los efectos recíprocos mostraron diferencias significativas al ( $P \leq 0.01$ ) sólo para tres de las 13 variables que se evaluaron: DFM, DFF, CM, y significativo al ( $P \leq 0.05$ ) para las variables AP, CP, REND, HUM, lo cual indica que, para la magnitud de la expresión de un carácter en una cruza, es importante determinar si es con la directa o con la recíproca con la que se obtiene la expresión más deseable del carácter.

El desglose de los efectos recíprocos en efectos maternos mostró efectos significativos al ( $P \leq 0.01$ ) para las variables; DFM, DFF, HUM, así como efectos significativos a ( $P \leq 0.05$ ) en las variables; CP y REND, por lo cual se deduce que las cruza tienen un comportamiento diferente en cuanto al arreglo de cada progenitor utilizado como hembra o como macho, es decir, la relación de estos caracteres evaluados está influenciada por genes localizados en el citoplasma.

Los efectos no maternos mostraron significancia al ( $P \leq 0.05$ ) en las variables de AP, AM, MC, CP y CM, por lo que se deduce que estos caracteres no están influenciados por el citoplasma. De acuerdo con Henderdon y Jacobsen (2007), esto ocurre debido a que complejas maquinarias enzimáticas mitótica y meióticamente estables, pueden adquirirse o perderse como consecuencia de factores ambientales externos, lo cual otorga mayor plasticidad a los organismos, ya que pueden adaptarse con mayor rapidez a su entorno. Este fenómeno se denomina epigenética.

**Cuadro 2.** Cuadros medios del análisis dialélico de veinte híbridos formadas a partir de cinco líneas, considerando cruizas directas y recíprocas, evaluadas en cuatro ambientes durante el 2015 y 2016.

Fv.	G. I.	DFM	DFF	AP	AM	AR	AT	MC	FUS	CP	CM	REND	PHL	HUM
AMB	3	1968.57**	2179.25**	1841.04**	2459.85**	379.25**	233.14**	665.95**	1806.07**	20.98**	36.90**	753.48**	306.14**	96.47**
REP (AMB)	4	39.99**	63.13**	446.98**	316.21**	49.98	29.73	144.46	909.16**	3.01*	0.09	23.61*	29.95**	27.81**
HÍBRIDO	19	12.62**	10.49**	476.94**	418.88**	220.91**	50.36*	469.74**	254.95**	8.26**	4.47**	49.90**	11.23**	5.17**
ACG	4	31.18**	20.02**	1581.77**	1439.82**	659.17**	149.91**	859.91**	872.79**	29.61**	15.26**	182.26**	20.57**	16.81**
ACE	5	6.28*	8.48*	124.34	150.10*	225.60**	16.79	644.58**	104.22	2.57	1.08	11.88	22.37**	1.13
REC	10	8.36**	7.68**	211.33*	144.91	43.26	27.33	226.25	83.18	2.58*	1.85**	15.97*	1.93	2.03*
MAT	4	14.45**	12.55**	139.48	110.38	60.55	23.93	61.76	155.26	2.34	2.26*	22.35*	3.21	3.84**
NMAT	6	4.31	4.43	259.23*	167.93*	31.73	29.6	335.91*	35.12	2.73*	1.58*	11.72	1.07	0.83
HIB*AMB	57	4.27**	7.22**	79.09	38.92	58.64	48.76**	152.06	215.60**	1.91*	1.16*	10.11	6.67	2.02*
ACG*AMB	12	7.64**	10.59**	141.51	80.11	87.75	55.87*	283.68*	382.33**	2.68*	2.53**	15.07*	9.75*	3.43**
ACE*AMB	15	3.54	4.56	83.45	38.72	34.43	21.29	103.04	117.79	2.45*	0.83	9.37	7.1	0.75
REC*AMB	30	3.3	7.21**	51.96	22.56	59.09	59.65**	123.92	197.81*	1.33	0.78	8.5	5.22	1.47
MAT*AMB	12	3.52	9.71**	76.68	22.92	46.59	93.95**	182.88	247.95*	1.13	1.13	10.48	7.71	1.49
NMAT*AMB	18	3.15	5.54*	35.48	22.32	67.43	36.78	84.61	164.39	1.46	0.55	7.17	3.56	1.46
ERROR	76	2.3	2.96	103.34	64.18	61.34	26.22	120.27	114.2	1.124	0.699	6.8711	4.47	1.19
TOTAL	159													
C. v.		1.9731	2.1691	7.043	11.065	193.38	146.83	89.938	71.8744	20.17	13.748	18.593	3.044	4.8019
MEDIA		77.01	79.31	144.33	72.4	4.05	3.487	12.1937	14.8687	5.2562	6.0812	14.0982	69.456	22.737

\*\*, significancia a ( $P \leq 0.05$ ) y ( $P \leq 0.01$ ) respectivamente; Fv.= Fuente de variación; AMB=Ambiente; REP(AMB) = Repetición dentro de Ambiente; HIB=Híbrido; ACG=Aptitud Combinatoria General; ACE=Aptitud Combinatoria Especifica; REC= Efectos Recíprocos; MAT= Efectos Maternos; NMAT=Efectos No Maternos; HIB\*AMB= Híbrido por Ambiente; ACG\*AMB= Aptitud Combinatoria General por Ambiente; ACE\*AMB= Aptitud Combinatoria Especifica por Ambiente; C.v.= Coeficiente de variación; G.I.=Grados de libertad; DFM= Días a Floración Masculina; DFF=Días Floración Femenina; AP= Altura de Planta; AM= Altura de Matorra; AR= Porcentaje de Plantas con Acame de Raíz; AT= Porcentaje de Plantas con Acame de Tallo; MC= Porcentaje de Matorras con Mala Cobertura; FUS= Porcentaje de plantas con *Fusarium* spp.; CP= Calificación de Planta; CM= Calificación de Matorra; REND=Rendimiento; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Porcentaje de Humedad.

**Cuadro 3.** Estimación de efectos directos de ACG, ACE obtenidos a través del diseño dialélico de Griffing modelo II, método III, de 13 variables agronómicas de 10 cruzas en F<sup>1</sup>.

ACG	DFM	DFF	AP	AM	AR	AT	MC	FUS	CP	CM	REND	HUM	PHL
	Días	Días	Cm	Cm	%	%	%	%	1-9	1-9	t ha <sup>-1</sup>	%	Vol.
0101	0.27	0.62	8.65 **	5.84 **	4.51 **	0.06	3.05	-3.80 *	0.84 **	0.60 **	2.52 **	-0.62 *	0.64
0102	0.89	0.66	1.32	4.59 **	2.78 **	0.20	-1.82	2.30	-0.13	0	0.36	0.51	-1.02 *
0103	-0.80	-0.43	-3.88 *	-0.03	-2.87 **	-1.07	-2.99	0.97	-0.77 **	-0.73 **	-2.30 **	-0.40	0.23
0104	-0.90	-0.82	-6.32 **	-2.88 *	-0.13	2.74 **	-4.05 *	5.36 **	-0.71 **	-0.35 *	-1.55 *	-0.23	-0.23
0105	0.54	-0.03	0.24	-7.51 **	-4.29 **	-1.94 *	5.80 **	-4.80 *	0.78 **	0.49 **	0.98	0.73 **	0.39

ACE	DFM	DFF	AP	AM	AR	AT	MC	FUS	CP	CM	REND	HUM	PHL
	Días	Días	Cm	Cm	%	%	%	%	1-9	1-9	t ha <sup>-1</sup>	%	Vol.
0101*0102	-0.48	-0.34	-0.81	2.42	5.58 **	-0.44	-0.93	-2.30	0.09	0.14	0.29	-0.01	0.37
0101*0103	-0.61	-0.76	2.08	1.35	-2.63	-0.48	-3.89	-1.97	0.48 *	0.24	1.02	-0.12	0.76
0101*0104	0.73	0.95	0.27	0.02	-0.69	0.15	-1.57	2.14	-0.26	-0.01	-0.23	0.29	-0.41
0101*0105	0.36	0.16	-1.54	-3.79 *	-2.27	0.77	6.38 **	2.14	-0.32	-0.36	-1.08	-0.16	-0.72
0102*0103	0.57	0.45	-1.40	-3.95 *	-2.40	0	-1.45	3.11	-0.53 *	-0.16	-0.76	-0.14	0.21
0102*0104	-0.20	-0.47	-1.90	-0.67	-1.21	1.25	-0.95	0.34	0.22	-0.16	-0.18	0.13	-1.24 *
0102*0105	0.11	0.36	4.10	2.21	-1.98	-0.81	3.32	-1.16	0.22	0.18	0.66	0.02	0.67
0103*0104	-0.01	0.18	1.75	0.83	1.33	-0.48	8.78 **	-1.32	-0.01	-0.05	-0.13	-0.15	0.32
0103*0105	0.05	0.14	-2.44	1.77	3.68 *	0.96	-3.45	0.18	0.05	-0.03	-0.13	0.41	-1.28 *
0104*0105	-0.24	-0.66	-0.13	-0.19	0.56	-0.92	-6.26 **	-1.16	0.05	0.22	0.54	-0.13	0

\*, \*\*, significancia a (P ≤ 0.05) y (P ≤ 0.01) respectivamente; 0101= PEGB-1; 0102= PEGB-2; 0103= PEGB-3; 0104= PEGB-4; 0105= PEGB-5; ACG= Aptitud Combinatoria General; ACE= Aptitud Combinatoria Específica; DFM= Días a Floración Masculina; DFF= Días a Floración Femenina; AP= Altura de Planta; AM= Altura de Mazorca; AR= Porcentaje de Plantas con Acame de Raíz; AT= Porcentaje de Plantas con Acame de Tallo; MC= Porcentaje de Mazorcas con Mala Cobertura; FUS= Porcentaje de plantas con *Fusarium* spp.; CP= Calificación de Planta; CM= Calificación de Mazorca; REND=Rendimiento; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Porcentaje de Humedad.

La separación de efectos directos y recíprocos es determinante para observar la capacidad del cruzamiento y así poder explotar las mejores características. La estimación de los efectos recíprocos es importante para tomar decisiones más acertadas sobre la utilización de las líneas como progenitor macho o hembra. Por lo tanto, se deben hacer estudios que permitan realizar análisis detallados para determinar si factores maternales o extranucleares están involucrados en la expresión de un carácter.

Dada la importancia que muestran los efectos recíprocos, el desglose de este efecto se presentan en el Cuadro 4. La cruce 0104\*0102 presenta significancia al ( $P \leq 0.05$ ) para efectos recíprocos en la variable de AM y muestra una reducción en la altura de mazorca al cambiar la participación del orden de los progenitores. La cruce 0104\*0101 presenta la misma significancia, pero para las variables de AT y MC; esta cruce tiene características que ayudan al potencial de rendimiento al tener plantas que no se acamen, con una buena cobertura de mazorca, lo que evita la penetración de patógenos.

La cruce 0103\*0101 se destaca por ser la mejor en la CP y CM en la cruce directa, ya que obtuvo una significancia de ( $P \leq 0.01$ ) y ( $P \leq 0.05$ ), respectivamente, lo que indica que para estas variables es mejor utilizar la cruce de forma recíproca para obtener las plantas más sanas y con buena mazorca. Al hacer el desglose de los efectos recíprocos en los efectos maternos (EM) y efectos no maternos (ENM), se pueda apreciar más claramente la intervención y/o afectación del cambio de orden de los progenitores, lo que implica que un carácter está siendo influenciado por el genotipo nuclear de la madre.

Al observar el Cuadro 4, no se aprecian diferencias significativas para el efecto materno en ninguna de las variables evaluadas, es decir, la influencia materna no tiene expresión significativa, o si la tiene, es mínima sobre el fenotipo.

Por último, del Cuadro 3, a pesar de la significancia de algunas interacciones: ACG\*AMB, ACE\*AMB, REC\*AMB, MAT\*AMB, NMAT\*AMB, su contribución a la varianza fenotípica observada para las diferentes variables resultó pequeña, en comparación con la contribución de los efectos de ACG y ACE. El desvío fenotípico refleja básicamente el grado de interacción entre el genotipo y el ambiente para expresar un fenotipo dado. La interacción de ACG\*AMB indica la desviación genotípica esperada de los valores de los genotipos, causada por el ambiente, que resulta de interés para el fitomejorador, ya que si esta interacción

es alta (Mayor que la ACG), los estimadores de heredabilidad son sesgados. Lo ideal es que el valor de la ACG debería ser el mismo para cada genotipo en los diferentes ambientes, es decir, que la correlación entre ACG y genotipo fuera igual a uno. Sin embargo, esto nunca sucede, por lo que se debe tener mucho cuidado con las estimaciones de heredabilidad.

### Componentes de varianza

Se encontró que tanto la varianza genética aditiva como la de dominancia controlan la expresión de las variables evaluadas. La varianza aditiva (Cuadro 5) resultó más importante para DFM, AP, AM, AT, FUS, CP, CM, REND y HUM, con heredabilidades que van desde 0.03 a 0.26, por lo que es factible utilizar progenies endogámicas por lo menos en dos ciclos de selección, para así aumentar la aditividad y depurar la carga genética y, posteriormente, seguir con selección recurrente. Los valores 0.21 AM, 0.26 CP, 0.20 CM y 0.26 REND de heredabilidad sugieren que es posible la obtención de ganancia relativamente rápida para esos caracteres, si la intensidad de selección es alta.

La varianza de dominancia presentó valores negativos en AT, FUS y PC, lo que indica que no hay efecto de dominancia en estos caracteres. El grado promedio de dominancia indicó sobredominancia en los siguientes caracteres: DFM (0.84), DFF (1.29), CP (0.18), CM (0.34), PHL (11.56) y HUM (0.39). El resultado es que el incremento de los alelos favorables dentro de las poblaciones se hace a tasas lentas y, por ende, el progreso genético es mucho menor.

### Selección de cruces

La selección de cruces simples complementarias para la derivación de líneas, así como las cruces para la formación del sintético, se realizó mediante el auxilio de un índice de selección, para lo cual se utilizó el total de cruces. Las variables para integrar el índice: altura (AM), precocidad (FM), sanidad (FUS) y rendimiento (REND), fueron sugeridas por el gráfico Biplot (Figura 1)

Barreto *et al.* (1991) mencionan que el valor del índice representa la suma de las distancias euclidianas de las variables respecto a la meta deseada para un genotipo. Aquellos genotipos con el menor valor de índice son los que minimizan dicha distancia, y representan aquéllos más cercanos a los criterios expresados en la meta para cada variable y, por lo tanto, se pueden considerar como superiores.

Bajo este criterio, se encontró a los híbridos 20, 4 y 25 como las mejores cruces simples por su com-

**Cuadro 4.** Estimación de efectos recíprocos (EM y ENM), obtenidos a través del diseño dialélico de Griffing modelo II, método III de trece variables agronómicas de diez cruzas en F1.

CR	DFM	DFE	AP	AM	AR	AT	MC	FUS	CP	CM	REND	HUM	PHL
	Días	Días	Cm	Cm	%	%	%	%	1-9	1-9	t ha <sup>-1</sup>	%	Vol.
0102*0101	0.81	1.13	2.63	3.13	-3.31	0.94	4.00	-0.69	-0.19	0.06	0.04	0.10	-0.40
0103*0101	1.63	1.75	5.19	3.31	1.69	-0.75	0.75	-3.31	0.93**	0.81*	1.90	0.49	0.08
0104*0101	-0.25	0.19	-5.19	-4.75	1.63	-3.31*	-6.25*	-0.31	-0.25	-0.19	-1.50	-0.59	0.31
0105*0101	0.19	0.19	3.31	0.69	-0.88	-0.88	-3.81	-1.63	0.19	0.06	0.77	0.09	-0.38
0103*0102	-0.44	0.25	1.50	0.63	0.56	0.13	0.19	2.88	-0.19	0.06	0.26	-0.08	0.09
0104*0102	-0.44	0.06	-4.44	-5.95*	2.88	0.81	0.75	4.13	-0.50	-0.44	-1.19	-0.05	-0.19
0105*0102	-0.19	0.19	-1.37	1.69	0.56	-0.56	5.63	2.44	-0.13	-0.25	-0.30	-0.07	-0.68
0104*0103	-0.81	-0.25	3.75	2.19	-0.75	0.44	5.94	2.13	0.13	0.06	0	-0.69	0.04
0105*0103	0.44	0.38	-4.50	-1.88	0.56	-0.69	0.06	1.44	-0.19	-0.06	-0.35	-0.11	-0.24
0105*0104	0.75	0.31	-1.50	0.06	-0.19	-1.50	1.94	0.00	0.50	0.44	1.34	0.64	-0.48

EM	DFM	DFE	AP	AM	AR	AT	MC	FUS	CP	CM	REND	HUM	PHL
	Días	Días	Cm	Cm	%	%	%	%	1-9	1-9	t ha <sup>-1</sup>	%	Vol.
101	0.48	0.65	1.19	0.48	-0.18	-0.80	-1.06	-1.19	0.14	0.15	0.24	0.02	-0.08
102	-0.38	-0.13	-1.39	-1.35	1.46	-0.11	0.51	2.03	-0.13	-0.14	-0.26	-0.06	-0.08
103	-0.31	-0.38	-1.49	-0.73	-0.49	0.08	1.01	0.80	-0.16	-0.18	-0.50	-0.24	-0.08
104	0.45	0.06	0.88	1.71	-0.79	0.11	0.30	-1.19	0.23	0.20	0.81	0.39	-0.13
105	-0.24	-0.21	0.81	-0.11	-0.01	0.73	-0.76	-0.45	-0.08	-0.04	-0.29	-0.11	0.36

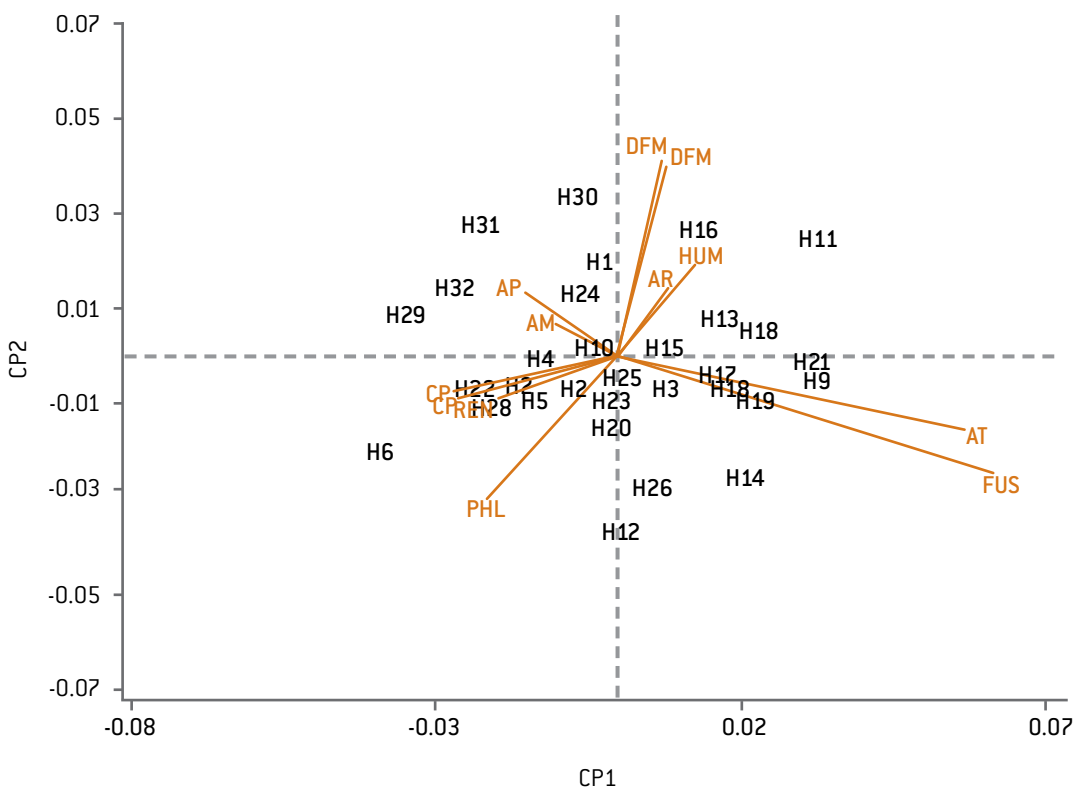
EM	DFM	DFE	AP	AM	AR	AT	MC	FUS	CP	CM	REND	HUM	PHL
	Días	Días	Cm	Cm	%	%	%	%	1-9	1-9	t ha <sup>-1</sup>	%	Vol.
0103*0104	-0.04	0.35	0.05	1.30	-1.68	1.63	5.57*	2.53	-0.45	-0.23	-0.46	0.02	-0.40
0103*0105	0.84	0.73	2.51	2.11	1.38	0.13	2.83	-1.33	0.63*	0.49	1.16	0.24	0.08
0103*0101	-0.28	-0.40	-5.50*	-3.51	1.01	-2.40	-4.88*	-0.31	-0.16	-0.14	-0.93	-0.22	0.26
0104*0101	-0.53	-0.68	2.94	0.10	-0.71	0.65	-3.51	-0.89	-0.03	-0.13	0.24	-0.04	0.06
0105*0101	-0.39	0.00	1.40	1.25	-1.39	0.31	0.69	1.65	-0.23	0.03	0.01	-0.26	0.09
0103*0102	-0.05	0.25	-2.18	-2.88	0.63	1.04	0.54	0.91	-0.15	-0.10	-0.13	0.40	-0.25
0104*0102	-0.05	0.10	0.83	2.93	-0.91	0.28	4.35	-0.04	-0.08	-0.15	-0.34	-0.12	-0.25
0105*0102	-0.05	0.19	6.11**	4.62*	-1.05	0.48	5.22*	0.14	0.51	0.44	1.31	-0.05	-0.01
0104*0103	0.51	0.54	-2.20	-1.26	1.04	-0.04	-1.71	0.19	-0.10	0.08	-0.14	0.03	0.19
0104*0105	0.06	0.04	-1.56	-1.76	0.59	-0.89	0.88	0.74	0.20	0.20	0.24	0.13	0.00

\*\*\*, significancia a [ $P \leq 0.05$ ] y [ $P \leq 0.01$ ] respectivamente; CR= Cruza Recíproca; EM= Efectos Maternos; ENM=Efectos No Maternos; 0101= PEGB-1; 0102= PEGB-2; 0103= PEGB-3; 0104= PEGB-4; 0105= PEGB-5; DFM= Días a Floración Masculina; DFE= Días a Floración Femenina; AP= Altura de Planta; AM= Altura de Mazorca; AR= Porcentaje de Plantas con Acame de Raíz; AT= Porcentaje de Plantas con Acame de Tallo; MC= Porcentaje de Mazorcas con Mala Cobertura; FUS= Porcentaje de plantas con *Fusarium* spp.; CP= Calificación de Planta; CM= Calificación de Mazorca; REND=Rendimiento; PHL= Peso Hectolítico; HUM= Porcentaje de Humedad.

**Cuadro 5.** Componentes de varianza genética y heredabilidad de las 13 variables evaluadas en cuatro ambientes durante el 2015 y 2016.

	DFM	DFF	AP	AM	AR	AT	MC	FUS	CP	CM	REND	PHL	HUM
	Días	Días	Cm	Cm	%	%	%	%	1-9	1-9	t ha-1	Vol.	%
$\sigma^2_A$	0.58	0.35	30.31	26.62	9.74	3.35	7.92	20.66	0.55	0.32	3.52	0.02	0.37
$\sigma^2_F$	5.06	6.55	173.46	127.88	74.94	53.15	231.38	237.88	2.07	1.58	13.50	6.77	11.07
$h^2$	0.11	0.05	0.17	0.21	0.13	0.06	0.03	0.09	0.26	0.20	0.26	0.002	0.03
$\sigma^2_D$	0.41	0.58	6.08	16.57	28.45	-0.67	80.59	-2.02	0.02	0.04	0.37	2.27	0.06
$\bar{d}$	0.84	1.29	0.45	0.79	1.71	0	3.19	0	0.18	0.34	0.33	11.56	0.39

$\sigma^2_A$  = Varianza Aditiva;  $\sigma^2_F$  = Varianza Fenotípica;  $\sigma^2_D$  = Varianza de Dominancia;  $h^2$  = heredabilidad;  $\bar{d}$  = Grado Promedio de Dominancia; DFM= Días a Floración Masculina; DFF= Días Floración Femenina; AP= Altura de Planta; AM= Altura de Mazorca; AR= Porcentaje de Plantas con Acame de Raíz; AT= Porcentaje de Plantas con Acame de Tallo; MC= Porcentaje de Mazorcas con Mala Cobertura; FUS= Porcentaje de plantas con *Fusarium* spp.; CP= Calificación de Planta; CM= Calificación de Mazorca; REND=Rendimiento; PHL= Peso Hectolítrico; HUM= Porcentaje de Humedad.



**Figura 1.** Gráfico Biplot, para la observación de los patrones de correlación entre variables.

plementariedad, con lo que se cumplió uno de los objetivos planteados en este trabajo, que fue conformar poblaciones de mejoramiento con base genética dirigida a la derivación de líneas élite de maíz enano.

Respecto a la formación de una variedad sintética, es necesaria la identificación de las cruzas simples

que la constituirán. La idea central fue elegir cruzas muy semejantes en altura, precocidad, sanidad y rendimiento para generar una variedad uniforme, las cuales se reportan en el Cuadro 6. Se espera que esta variedad se emplee por agricultores de áreas ubicadas entre 1000 y 1700 msnm.

**Cuadro 6.** Concentración de cruzas simples que constituirán la variedad sintética, seleccionadas en base al índice de selección.

HIB	Genealogía	DFM	AM	FUS	REND
		Días	Cm	%	t ha <sup>-1</sup>
20	(PEGB-4)*(PEGB-5)	76.87	61.87	14.25	15.58
4	(PEGB-1)*(PEGB-5)	78.37	67.62	6.75	16.86
25	(PEGB-5)*(PEGB-3)	76.37	68.50	9.75	14.13
6	(PEGB-1)*(PEGB-7)	82.25	98.25	2.58	21.32
28	(PEGB-5)*(PEGB-7)	83.00	79.50	4.58	17.00
10	(PEGB-2)*(PEGB-5)	78.37	73.37	13.62	16.77
27	(PEGB-5)*(PEGB-6)	83.25	73.00	10.33	15.19
7	(PEGB-2)*(PEGB-1)	76.87	82.12	11.25	16.49
2	(PEGB-1)*(PEGB-3)	77.50	82.87	6.75	16.35
22	(PEGB-4)*(PEGB-7)	82.00	95.75	6.08	17.25
9	(PEGB-2)*(PEGB-4)	76.37	67.50	8.37	14.37
5	(PEGB-1)*(PEGB-6)	75.95	91.63	5.08	15.28

HIB= Híbrido; REND= Rendimiento; FUS= porcentaje de Plantas con *Fusarium* ssp.; AM= Altura de Mazorca; FM= Floración masculina.

## CONCLUSIONES

El comportamiento de las cruzas entre las líneas del grupo enano permitió detectar variabilidad genética para la mayoría de las variables evaluadas, a pesar de que las cruzas simples se originaron dentro del mismo grupo heterótico. Además, se detectó que los efectos del tipo aditivo son de mayor contribución para el conjunto de variables evaluadas, por lo que se recomienda utilizar, para mejorar esta población, un programa de selección recurrente de hermanos completos.

Los híbridos que se encontraron como los mejores, de acuerdo al índice de selección fueron, el 20, 4 y 25.

En lo referente a la formación de la variedad sintética, se eligieron once cruzas simples semejantes en altura, precocidad, sanidad y rendimiento para generar una variedad uniforme y estable. Los cruzamientos de las líneas que se utilizaron para generar este sintético no participaron de manera proporcional, ya que se prefirieron aquellas líneas que demostraron tener mayores efectos de ACG.

## LITERATURA CITADA

- BARRETO, H.J., Bolaños, J.A. y Córdova, H.S. (1991). Programa índices de selección, Guía para la operación de software. Manual de Capacitación Regional. México. CIMMYT. p. 20.
- COMSTOCK R.E. y Robinson, F.H. (1952). Estimation of Average of Dominance of Genes. Heterosis. Ames, Iowa State College Press. pp. 494-516.
- COUTIÑO, E. B., Vidal, M.V.A., Cruz, G.B. y Cruz, V.C. (2010). Aptitud combinatoria general y específica del contenido de azúcares en maíces criollos eloteros. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):57-61.
- CROSSA, J, Cornelius, L.P. y Vargas, M. (2000). Modelos estadísticos multiplicativos para el análisis de interacción genotipo x ambiente. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. p. 30.
- DE LA CRUZ, L.E., Córdova, O.H., Estrada, B.M.A., Mendoza, P.J.D., Gómez, V.A. y Brito, M.N.P. (2009). Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia* 25(1):93-98.
- DE LEÓN, C.H.; Rincón, S.F.; Reyes, V.M.H.; Sámano, G.D.; Martínez, Z.G.; Cavazos, C.R. y Figueroa, C.J. de D. (2005). Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):135-143.
- GRIFFING, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Division of Plant Industry, C.S.I.R.O., Canberra, A.C.T. 463-493.
- GUILLÉN DE LA C.P., De la Cruz, L.E., Castañón, N.G., Osorio, O.R., Brito, M.N.P., Lozano, del R.A.J. y López, N.U. (2009). Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 10:101-107.
- HENDERSON, R.I. and Jacobsen, E.S. (2007). Epigenetic inheritance in plants. *Nature* 447:418-424.
- PEYMAN S., Hamid D., Ali, M. y Mohammad, M. (2009). Genetic and genotype x environment interaction effects for appearance quality of rice. *Agric. Sci. China.* 8(8):891-901.
- REYES, L. D., Molina, G.J.D., Oropeza, R.M.A. y Moreno, P.E.C. (2004). Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):49-56.
- VARGAS, M. and Crossa, J. (2000). The AMMI analysis and graphing the biplot. *Biometrics and Statistics Unit. CIMMYT, México.* p. 39.
- ZHANG, Y., Kang, M. S. y Lamkey, K. L. (2005). DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agron. Journal.* 97:1097-1106.

# Propiedades físicas y mecánicas de escapos florales de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en el sureste de Coahuila

## Physical and mechanical properties floral sotol scapes (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.)

Juan Manuel Ríos-Camey<sup>\*1</sup>, Bernardo López-López<sup>1</sup>, Jorge Méndez-González<sup>2</sup>, José Antonio Ramírez-Díaz<sup>2</sup>, Óscar Alberto Aguirre-Calderón<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Intercultural del Estado de Guerrero (UIEG), Km. 54, Carretera Tlapa-Marquelia. La Ciénega, Malinaltepec, Guerrero, México. Tel.: 52 (757) 102 9723. e-mail: jmrc.x25@hotmail.com [\*Autor responsable]. <sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales.

### RESUMEN

En este estudio se realizaron análisis estadísticos para determinar las propiedades físicas y mecánicas por sexo (macho y hembra) de diferentes muestras de escapos florales de la especie *Dasyilirion cedrosanum* Trel., para comprobar si existen diferencias significativas entre ellos; posteriormente, los resultados obtenidos se compararon con las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Ochroma* spp. para analizar la posibilidad de dar un uso diferente a los escapos florales del sotol, similar al que se le da a la madera de balsa (*Ochroma* spp.). La metodología que se empleó para este propósito estuvo fundamentada en la Norma Copant (Comisión Panamericana de Normas Técnicas), que contempla los siguientes parámetros físicos: densidad, peso seco volumétrico y contracción. Los ensayos mecánicos que se evaluaron fueron: flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, rajado o clivaje, tensión paralela, cortante o cizallamiento y dureza Janka. Los resultados mostraron que, estadísticamente, los escapos florales hembra fueron superiores en todas las pruebas físicas y mecánicas a los machos ( $\alpha=0.05$ ), a la vez que superaron a la madera de balsa (*Ochroma* spp.). Por lo tanto, es factible utilizar los escapos florales hembra y machos de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) de forma similar a como se usa actualmente la madera de balsa, pues aunque estadísticamente son mejores los escapos florales hembra para ciertos usos, no se descarta la utilización de los escapos florales macho con otros propósitos.

**Palabras clave:** maquina universal de ensayos, recursos no maderables, *Ochroma* spp., densidad, flexion, rajado, dureza

### ABSTRACT

In this study, statistical analyzes were performed to determine physical and mechanical properties by sex (male and female) from different samples of sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel) floral scapes. Then, these results were compared with the physical and mechanical properties of balsa wood (*Ochroma* spp.) species with the purpose of analyzing the possibility of giving a different use to the sotol floral scapes, similar to that of *Ochroma* spp. The methodology used was based on the Copant (Pan American Technical Standards Commission) Standard, with the following physical parameters: density, dry weight and contraction. The following mechanical tests were evaluated: static bending, parallel compression, perpendicular compression, splitting or cleavage, parallel tension, shear, and Janka hardness. The results showed that female floral scapes exceeded statistically ( $\alpha = 0.05$ ) in all physical and mechanical tests to male floral scapes and exceeded also the same characteristics for balsa wood (*Ochroma* spp.). Therefore, it is feasible to use female and male sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) floral scapes instead of balsa wood (*Ochroma* spp.) because although statistically female floral scapes are better than male scapes for certain uses, the use of male floral scapes are to be considered for other uses as well.

**Key words:** universal testing machine, no woods resources, *Ochroma* spp., density, flexion, cracking, hardness

## INTRODUCCIÓN

Los productos forestales no maderables (PFNM) son recursos muy valiosos porque, además de ser proveedores de satisfactores que cubren necesidades primarias, tienen una función en el bosque como proveedores de otros bienes, tales como: servicios ambientales, protección del suelo, mantenimiento de la biodiversidad animal y vegetal. Uno de los PFNM es el sotol, una planta característica del noreste de México y habitante del matorral desértico rosetófilo, el cual crece en amplias áreas y cuyas poblaciones naturales son abundantes (Semarnat, 2001).

El sotol es una planta perenne, dioica, que se caracteriza por poseer escapos florales delgados con sexo bien definido, que se presentan en la planta como macho o hembra, pero nunca juntos. Los escapos florales del sotol se utilizan para la construcción rústica de cercados, techos de casa-habitación y corrales de animales (López y Portes, 2002). Por otro lado, la madera de balsa (*Ochroma* spp.) se caracteriza por ser liviana, blanda y de muy baja densidad, que se utiliza para trabajos livianos como la elaboración de maquetas arquitectónicas, empaques, aislantes ligeros, juguetes, y modelismo aéreo y naval, lo que hace que aumente su valor, que ha llegado a ser de alrededor de 50.00 dólares estadounidenses por pie-tabla (Madera, 2005).

Con el propósito de comprobar si existen diferencias significativas entre escapos florales masculinos y femeninos de la especie *Dasyllirion cedrosanum* Trel., en este estudio se tomaron diferentes muestras que se colectaron en el sureste de Coahuila, con el propósito de determinar estadísticamente sus propiedades físicas y mecánicas por sexo; posteriormente éstas se compararon con las de la especie *Ochroma* spp. para averiguar si existe la posibilidad de utilizar los escapos florales del sotol de manera similar a como se aprovecha la madera de balsa, lo que podría llevar a su industrialización y, por consiguiente, a un incremento de su valor, pero a un costo muy reducido, lo cual podría beneficiar a quienes poseen terrenos donde se distribuye y aprovecha el sotol.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta de escapos florales se realizó en el ejido Tanque Nuevo, municipio de Parras de la Fuente, Coahuila, entre las coordenadas 25° 15' 50" latitud

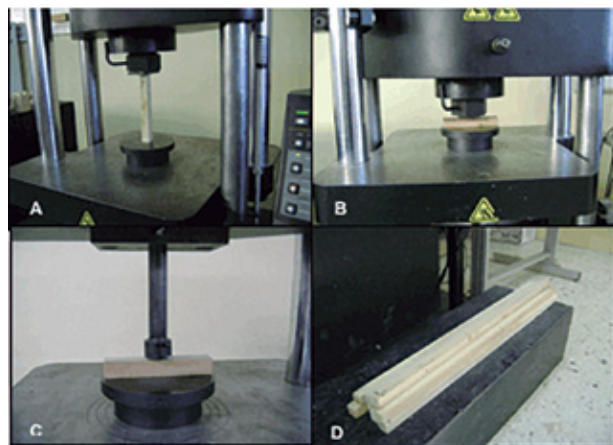
norte y 101° 43' 37" de longitud oeste. El muestreo fue selectivo, ya que los escapos tanto hembras como machos se eligieron y cortaron a partir de su mayor diámetro de base. Esto con la finalidad de adaptarlos y así lograr, de la mejor forma posible, tratarlos como madera al momento de determinar sus propiedades físicas-mecánicas y compararlos con la madera de balsa (*Ochroma* spp.).

### Trabajo de campo

Para el análisis de las propiedades físicas se prepararon 60 probetas, de las cuales 40 se utilizaron para determinar estas propiedades en estado verde y anhidro, y el resto se dejaron secar al aire libre para obtener datos sobre el porcentaje de contenido de humedad (Copant, 1972).

Para el análisis de las propiedades mecánicas se utilizaron 280 probetas de diferentes medidas. Se realizaron siete pruebas mecánicas. Para cada prueba mecánica se emplearon 20 probetas por sexo (hembras y machos), que se evaluaron únicamente con muestras en estado anhidro, es decir, secadas artificialmente en la estufa, a una temperatura de 103 + 2 °C, para lograr obtener muestras con un contenido de humedad de 4% (Copant, 1972).

Las pruebas mecánicas de las probetas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) se realizaron en el laboratorio de tecnología de la madera del Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), Durango, con la máquina universal de ensayos marca INSTRON®, cuya capacidad de presión es de 60 toneladas (Figura 1).



A= compresión paralela; B= Compresion perpendicular; C= Dureza Janka; D= Probetas para flexion estática.

**Figura 1.** Ensayos mecánicos realizados en escapos florales de sotol [*Dasyllirion cedrosanum* Trel. en el sureste de Coahuila].

### Trabajo de gabinete

Para las pruebas físicas: densidad y peso seco volumétrico se realizó un análisis de varianza mediante arreglo factorial 2x3 (Cuadro 1), para comprobar si existen diferencias significativas por sexo entre las densidades a diferentes condiciones de humedad (anhidro, 11% de contenido de humedad y verde). En total se emplearon seis tratamientos con diez repeticiones cada uno. El análisis estadístico se realizó con el paquete de diseños experimentales de la UANL (Olivares, 1994).

**Cuadro 1.** Diseño experimental factorial 2x3 utilizado para analizar densidad y peso seco volumétrico en escapos flores de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.).

Factor	A. Condiciones de humedad			
	Nivel	A1	A2	A3
B. Sexo	B1	A1B1	A2B1	A3B1
	B2	A1B2	A2B2	A3B2

A1= Densidad o peso seco volumétrico verde; A2= Densidad o peso seco volumétrico anhidro; A3= Densidad o peso seco volumétrico al 11% de CH; B1= Escapos florales de sotol hembras; B2= Escapos florales de sotol machos

En los casos donde el ANOVA presentó diferencias significativas entre el factor A, factor B o interacción AB, se realizó una prueba de Tukey, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

Para las pruebas mecánicas se realizó una comparación de medias con una prueba de "t" student (= 0.05, n-1 gl) a fin de determinar si existen diferencias significativas entre los sexos macho y hembra; asimismo se realizó una comparación de medias de las propiedades físicas y mecánicas de los escapos florales de ambos sexos, respecto a las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Ochroma* spp., para lo cual se emplearon los datos de varianza y número de repeticiones reportados por Bárcenas y Dávalos (2001), y el criterio de clasificación para características de especies mexicanas obtenidos por Sotomayor (2002). La prueba de "t" se realizó con el software estadístico info-stat versión 2015e.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para densidad, la mayor es la obtenida en verde, seguida de la de 11% de contenido de humedad y, por último, la densidad anhidra. Se observó que las dos medias por sexo son diferentes, y que la mayor densidad se obtuvo en los escapos florales hembra, seguido de los escapos florales macho (Cuadro 2).

De acuerdo con Monteoliva (2009), la densidad es el atributo universalmente utilizado como índice de calidad de madera en relación a sus usos, donde las dimensiones celulares, la composición química y de las proporciones relativas de los tejidos constitutivos está correlacionada positivamente con la mayoría de las propiedades físico-mecánicas.

Por su parte, García (2001) explica que la variación en la densidad se atribuye a ciertos factores como

**Cuadro 2.** Densidad promedio por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del sureste de Coahuila.

Contenido de humedad	Media (g/cm <sup>3</sup> )		C.V (%)		N	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos
Anhidra	0.3478	0.1707	24.81	18.66	20	20
Verde	0.7247	0.2321	6.58	13.65	20	20
11% de CH.	0.5363	0.2014	10.25	10.53	20	20

C.V= Coeficiente de variación; n= Tamaño de la muestra; CH= Contenido de humedad.

son: calidad del sitio, velocidad de crecimiento del árbol, área geográfica, parte del árbol por la cantidad de extractivos presentes en la madera, y finalmente añade que la densidad varía notoriamente cuando la humedad realtiva se expone a diferentes condiciones ambientales; para este estudio, se comprobó que la densidad fue mucho mayor en estado verde, puesto que el aumento de humedad fue directamente proporcional al peso (gr) y volumen (cm<sup>3</sup>) de la misma.

Para peso seco volumétrico, se encontraron diferencias altamente significativas ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo a diferentes condiciones de humedad, siendo mayor los escapos florales hembra, seguido de los escapos florales macho (Cuadro 3). Respecto a las pruebas mecánicas, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) entre las medias por sexo de escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. en todas las pruebas mecánicas realizadas (Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Peso seco volumétrico promedio por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del sureste de Coahuila.

Contenido de humedad	Media [g/cm <sup>3</sup> ]		C.V [%]		N	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos
PSVo	0.3478	0.1707	10.54	11.18	20	20
PSV <sub>11</sub>	0.2580	0.1653	8.54	9.25	20	20
PSVv	0.3029	0.1680	9.18	15.34	20	20

PSVo= Peso seco volumétrico anhidro; PSV11= Peso seco volumétrico al 11% de contenido de humedad; PSVv= Peso seco volumétrico verde. C.V= Coeficiente de variación; n= Tamaño de la muestra.

**Cuadro 4.** Pruebas mecánicas por sexo en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del sureste de Coahuila.

Prueba mecánica	Escapos florales hembra [KgF/cm <sup>2</sup> ]	Escapos florales macho [KgF/cm <sup>2</sup> ]
Flexión estática: módulo de elasticidad	122,844 A*	41,532 B
Flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad	635.94 A*	261.84 B
Flexión estática: resistencia a la ruptura	741.93 A*	305.48 B
Compresión paralela: módulo de elasticidad	26,783 A*	8,264 B
Compresión paralela: resistencia a al límite de proporcionalidad	361.15 A*	47.06 B
Compresión paralela: resistencia a la ruptura	401.28 A*	107.84 B
Compresión perpendicular: resistencia al límite de Proporcionalidad	36.70 A*	20.34 B
Compresión perpendicular: resistencia a la ruptura	38.632 A*	21.412 B
Cortante o cizallamiento: resistencia a la ruptura	28.98 A*	11.07 B
Dureza janka	187.67 A*	92.52 B
Rajado o hendimiento	24.059 A*	8.618 B
Tensión paralela: resistencia al límite elástico	205.590 A*	94.870 B
Tensión paralela: resistencia a la ruptura	256.987 A*	118.588 B
Tensión paralela: módulo de elasticidad	23,193.6 A*	9,936 B

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $\alpha= 0.05$ ).

**Cuadro 5.** Pruebas mecánicas por sexo en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del sureste de Coahuila.

Prueba mecánica	Escapos hembra (KgF/cm <sup>2</sup> )	Escapos macho (KgF/cm <sup>2</sup> )	Ochroma spp. (KgF/cm <sup>2</sup> )
Flexión estática: modulo de elasticidad	122,844 A*	41,532 B	42,000 B
Flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad	635.94 A*	261.84 B*	150 C*
Flexión estática: resistencia a la ruptura	741.93 A*	305.48 B*	260 C*
Compresión paralela: modulo de elasticidad	26,783 A	8,264 B*	25,900 A
Compresión paralela: resistencia a al límite de proporcionalidad	361.15 A*	47.06 B*	65 C*
Compresión paralela: resistencia a la ruptura	401.28 A*	107.84 B*	175 C*
Compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad	36.70 A*	20.34 B*	10 C*
Cortante o cizallamiento: resistencia a la ruptura	28.98 A*	11.07 B*	25 A*
Dureza janka	187.67 A*	92.52 B*	50 C*
<b>Prueba física</b>			
Densidad promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	0.5363 A*	0.2014 B*	0.150 C*
PSV verde (gr/cm <sup>3</sup> )	0.2580 A*	0.1653 B	0.160 B
Contracción (%)	3.952 % A	2.874 % A	2.56 % A

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).

El resultado de la prueba “t” student ( $\alpha=0.05$  n-1 gl) determinó que existen diferencias significativas entre las medias de escapos florales hembra y la madera de *Ochroma* spp. para la propiedad físicas: densidad promedio y peso seco volumétrico verdes, ya que fueron mayores los obtenidos para los escapos florales hembra. Asimismo, en todos los parámetros mecánicos evaluados también existieron diferencias significativas, y fueron mayores los de los escapos florales hembra (Cuadro 5).

Los escapos florales macho fueron superados estadísticamente por la madera de *Ochroma* spp. únicamente en la prueba de compresión paralela, no así en las pruebas restantes.

## CONCLUSIÓN

En función de los resultados y los análisis estadísticos, se puede afirmar que existen diferencias significativas por sexo (machos y hembras) para la especie de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. en todas las pruebas

físicas y mecánicas determinadas, y que en todos los casos los escapos florales hembra fueron mejores. Además, también se puede decir que existen diferencias significativas entre los valores de las pruebas físicas y mecánicas de los escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. y los valores de *Ochroma* spp., y que los mejores parámetros que se obtuvieron fueron los de los escapos florales hembra. Por lo tanto, se concluye que es factible que los escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. puedan utilizarse de manera similar a algunos de los usos que se le da actualmente a la madera de *Ochroma* spp.

No obstante, los valores de los escapos florales macho estadísticamente fueron superados por *Ochroma* spp. únicamente en la pruebas de compresión paralela: resistencia a la ruptura, módulo de elasticidad y resistencia al límite de proporcionalidad. En las pruebas restantes, los escapos florales macho presentaron mejores resultados. Por lo tanto, aunque estadísticamente son mejores los escapos florales hembra, no se descarta la posibilidad de utilizar

los escapos florales macho en algunos de los usos similares que se les da a la madera de *Ochroma* spp., pues en base a sus resultados físicos y mecánicos, se puede afirmar que tiene características muy similares a las de la madera de *Ochroma* spp.

Este trabajo de investigación documenta, por primera ocasión, las propiedades físicas y mecánicas por sexo de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. Estos resultados revelan que, de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas, puede utilizarse de forma similar a la madera de balsa (*Ochroma* spp.).

Los resultados de esta investigación pueden ayudar de manera directa a los productores rurales que se dedican a la comercialización de esta planta, ya que pueden vender y comercializar los escapos florales con un valor agregado.

## LITERATURA CITADA

- BÁRCENAS, P.G.M. y R. Dávalos, S. 2001. Shrinkage values for 106 Mexican woods. Paper accepted to be published in Journal of Tropical Forest Products. pp 15-17.
- COPANT. 1972. Comisión Panamericana de Normas Técnicas. Normas Técnicas 459,460, 461 y 462. Buenos Aires, Argentina. 461 pp.
- GARCÍA, G.N. 2001. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Conzattia multiflora* (Rob.). Standl. Universidad Autónoma de Chapingo. Tesis profesional. 57 pp.
- MONTEOLIVA (2009). Propiedades de la madera y de las pulpas CMP de Salicáceas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (unlp). La Plata, Argentina. 8 pp.
- LÓPEZ, B. A. y Portes, V.L. 2002. El sotol una planta muy especial. Manual del productor. Proyecto integral del sotol. Secretaría de Fomento Agropecuario - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (uaaan). Saltillo, Coahuila, México. 38 pp.
- MADERA, P. J. 2005. Descripción de especies. Balso. Boletín Técnico e Informativo sobre Tecnología de Maderas. Laboratorio de productos forestales. Universidad Nacional de Colombia. Seccional Medellín. Vol. VII. N° 1, Medellín, Colombia. pp 20-27.
- OLIVARES, S.E. 1994. Paquete de diseños experimentales fauanl. Versión 2.5. Facultad de Agronomía de la uanl, Marín, Nuevo León, México.
- SEMARNAT. 2001. *Dasyllirion cedrosanum* Trel. recuperado de <http://Semarnat.gob.mx/pfnm3/fichas/dasyllirioncedrosanumTrel.htm> el 13 de noviembre de 2014.
- SOTOMAYOR, C.J. 2002. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas. FITECMA. UMSNH. Cartel formato: 60 x 90 cm. Morelia, Michoacán, México. 1 p.

# PUBLICACIONES 2017-2018



**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](mailto:agraria_ne@uaaan.mx)

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



- 41** Calidad nutricional y digestibilidad *in vitro* del nopal (*Opuntia rastrera*) y maguey (*Agave salmiana* Otto)  
Nutritional evaluation and *in vitro* digestibility of prickly pear cactus (*Opuntia rastrera*) and agave (*Agave salmiana* Otto)  
Jesús Manuel Fuentes-Rodríguez, Giovanni Octavio Aparicio-Gómez, Fernando Ruiz-Zárate, Ana Verónica Charles-Rodríguez
- 49** Efecto de la densidad de plantación en la propagación vegetativa de zacate búfalo en charolas  
Effect of plantation density in vegetative propagation of Buffalograss in trays  
Juan Manuel Martínez-Reyna, Susana Gómez-Martínez, Froylán Rincón-Sánchez
- 53** Evaluación de chile habanero (*Capsicum chinense*) a diferentes distancias de siembra en invernadero  
Evaluation of habanero chile (*Capsicum chinense*) at different planting distances in greenhouse  
Ana María Sangabriel y Julia Aurora Montanoz
- 67** Exploración genética y reconstitución de una población de maíz enano  
Genetic exploration and reconstitution of a dwarf maize population  
Eduardo Hernández-Alonso, Humberto de León-Castillo, Víctor Manuel Zamora-Villa, Luis Hernández-San Juan, Cirilo Cahuare-Ramos
- 79** Propiedades físicas y mecánicas de escapos florales de sotol (*Dasylirion cedrosanum* Trel.) en el sureste de Coahuila  
Physical and mechanical properties floral sotol scapes (*Dasylirion cedrosanum* Trel.)  
Juan Manuel Ríos-Camey, Bernardo López-López, Jorge Méndez-González, Jose Antonio Ramírez-Díaz, Óscar Alberto Aguirre Calderón

**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 envíen para su publicación deberán ceñirse a las normas editoriales y estarán sujetos a estricta revisión por pares, como requisito previo a su publicación.