



# Agraria

Vol. 15, núm. 3, septiembre-diciembre, 2018 • ISSN 0186 8063



Universidad  
Autónoma Agraria  
Antonio Narro





Revista científica de la Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro, vol. 15, núm. 3, septiembre-diciembre, 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

Hojas de orégano

*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. 3, septiembre-diciembre, 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 septiembre de 2018, y consta de 200 ejemplares.





## CONTENIDO

### PÁGINA

**85**

**El aprovechamiento del orégano en las comunidades rurales del sureste de Coahuila**

The use of the orégano in the rural communities of the southeast of Coahuila

*Carmen Leticia Ayala-López*

**91**

**Programación de riego con un índice térmico y su efecto sobre el crecimiento y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.)**

Programming of irrigation using a thermal index and its effect on the growth and performance of the corn

*Raúl Rodríguez-García, José Antonio Morales-de la Cruz, Diana Jasso-de Rodríguez, José Ángel Villarreal-Quintanilla y Homero Ramírez-Rodríguez*

**103**

**Calidad fisiológica de semilla en seis genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)**

Seed physiological quality in six genotypes of jalapeno pepper [*capsicum annuum* L.]

*Hipólito Hernández-Hernández, David Sánchez-Aspeytia,*

*Mario Ernesto Vázquez-Badillo, Norma Angélica Ruiz-Torres, Valentín Robledo-Torres*

**109**

**Aptitud combinatoria y heterosis en cruzas experimentales de sorgo para grano**

Combining ability and heterosis in grain sorghum experimental

*Nury Deyanira Gutiérrez-Palacios, José Espinoza-Velázquez,*

*Armando Rodríguez-García, Luis Ángel Muñoz-Romero, Alfonso López-Benítez*

**121**

**Potencial de producción de inflorescencias en híbridos apomícticos de zacate buffel**

Inflorescence potential production in Buffelgrass apomict hybrids

*Susana Gómez-Martínez, Jorge Raúl González-Domínguez,*

*Juan Manuel Martínez-Reyna, Daniel Aldaco-Gómez*



# El aprovechamiento del orégano en las comunidades rurales del sureste de Coahuila

The use of the orégano in the rural communities of the southeast of Coahuila



\*Carmen Leticia Ayala-López

Profesora e investigadora del Departamento de Sociología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Email: cayala.uaaan@gmail.com [\*Autor responsable].

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo documentar aspectos relacionados con el aprovechamiento del orégano en una comunidad rural localizada en la región sureste del estado de Coahuila. En ella se abordaron los siguientes aspectos: el proceso de extracción y secado del orégano, el tiempo que se le dedica a esta actividad y la forma como se comercializa el producto. Se usó un enfoque cualitativo y la entrevista semiestructurada como instrumento para recabar información, la cual se aplicó a cinco informantes clave que se dedican a la colecta y comercialización del orégano. Los entrevistados aseveraron que el aprovechamiento del orégano (*Calamintha potosina*) en Santa Rosa data de 1980, y que cada año la colecta inicia a finales del mes de junio y se prolonga hasta los meses de septiembre y octubre; señalaron, además, que durante este lapso llegan a reunir entre 100 y 150 kg de hoja seca de orégano por temporada, que comercializan en el propio ejido o en ciudades cercanas, y que otra forma de comercializarlo es como planta en maceta. También indicaron que la sobreexplotación de este recurso y el hecho de que algunas personas extraen toda la planta, está ocasionando que disminuyan las poblaciones silvestres de orégano.

**Palabras clave:** extracción, comercialización, impacto social

## SUMMARY

The research aimed to document aspects related to the use of oregano in a rural community located in the southeast region of the State of Coahuila. It dealt with aspects related to the oregano extraction and drying process, the time devoted to this activity, and how to market the product. We used a qualitative approach and the semi-structured interview as a tool to gather information; this interview was carried out to 5 key informants who are dedicated to the collection and commercialization of oregano. The interviewees asserted that the use of oregano in Santa Rosa dates from 1980 and that the collection begins at the end of June and lasts until September and October; during this period they reach between 100 and 150 kg of dry leaf oregano per season which they market in the ejido itself or in nearby cities, another way to market it is as a potted plant. Overexploitation of the resource and the fact that some people extract the whole plant are causing the populations of wild oregano to decrease.

**Key words:** extraction, marketing, social impact

## INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas de México ocupan más de la mitad del territorio nacional. En estas regiones el rango de la temperatura varía de 40° C en verano, a -10° C en algunas noches invernales y, además, la incidencia errática de las precipitaciones es menor a los 300 mm. Aun así, poseen gran cantidad de recursos que tradicionalmente aprovechan sus habitantes, pues contribuyen a crear empleo y activan la economía local, según González (2012). De entre las plantas silvestres más utilizadas destacan: la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*), la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), el mezquite (*Prosopis* sp.), el pino piñonero (*Pinus cembroides*), el guayule (*Parthenium argentatum*) y el orégano (*Lippia palmeri* y *Lippia graveolens*).

El orégano se distribuye de manera silvestre en 24 estados del territorio mexicano, de los que Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Coahuila, seguidos por Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y Baja California Sur son los principales productores (García, 2012). En el país se obtiene una producción anual de hoja seca de orégano mexicano de 6,500 toneladas, de las cuales 90% se destina al mercado de exportación (Villavicencio, Cano, Torres y Prieto, 2012, p. 40); en el mercado internacional compite con el *Origanum vulgare*, una especie aromática de Turquía (INIFAP, 2012). En Puebla se impulsa a productores de orégano en los municipios de Xochitlán, Todos los Santos, Tlacotepec de Benito Juárez y Molcaxac. En Hidalgo, 13 comunidades de Cardonal y Tlahuiltepa domestican el orégano desde hace más de 50 años, y cubren la cadena productiva desde la reproducción de las plantas en vivero, hasta el cultivo de matas en huertos, lo que le da un valor agregado (García, 2012). De igual manera, Coahuila tiene plantaciones comerciales de orégano en predios de los municipios de Parras de la Fuente, General Cepeda y Ramos Arizpe (Villavicencio, Ramírez, y Berlanga, 2007), aunque esta planta se encuentra en poblaciones silvestres en comunidades rurales del sureste del estado –entre ellas, el ejido Santa Rosa, localizado a 112 km de la ciudad de Saltillo–, cuyos pobladores han visto al orégano como un medio de subsistencia. Pese a su importancia social y económica, esta actividad no se ha documentado debidamente, por lo que el presente estudio pretende generar información del proceso de aprovechamiento y comercialización del orégano en el ejido Santa Rosa, municipio de Saltillo.

El orégano forma parte de la vasta diversidad florística que posee la zona desértica y semidesértica de México, donde se conocen 40 especies de este recurso, pertenecientes a las familias botánicas *Lamiaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae* y *Verbenaceae*; en esta última se ubican las especies: *Lippia palmeri* y *Lippia graveolens*, consideradas las de mayor importancia gracias a sus características aromáticas. Esta planta es arbustiva con una altura que va de 1.50 a 2.00 m, que se desarrolla en forma natural en suelos pedregosos, a altitudes de 1800 a 2500 msnm. Se distribuye principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Coahuila, que es donde se concentra 50% de los permisos de aprovechamiento (Figura 1).

A lo largo de la historia, los recursos naturales representan una importante fuente de ingresos y empleo para las comunidades rurales de las zonas áridas y semiáridas, cuyas condiciones climáticas son poco favorables para practicar la agricultura y la ganadería a gran escala. Algunas plantas forman parte de la vida cotidiana de los habitantes de las zonas rurales, quienes además de utilizarlas para autoconsumo, extraen de ellas medicamentos, saborizantes y aromas (Comisión Nacional Forestal 2009). La productividad de estas plantas, sin embargo, varía en función de la zona ecológica y de la población presente en el área, como sucede con el orégano, que lo colecta 90% de los pobladores de diversas comunidades rurales del noreste de Yucatán, donde cada unidad familiar cosecha entre 240 y 1,040 kg por temporada, lo que genera un ingreso que, comparativamente, representa el doble de lo que obtiene un padre de familia que labora en una granja avícola de la región.

En la zona oreganera de Jalisco, la producción de hoja seca varía de 0.102 a 0.389 ton/ha, en tanto que en San Luis Potosí es de 0.019 a 0.030 ton/ha, y en Durango fue de alrededor de 1628 t en el 2007, lo que generó un ingreso de 14 millones 653 mil pesos. De igual manera, esta especie se ha recolectado en Coahuila desde la década de los ochenta, de la cual 90% se obtiene en zonas silvestres. Recientemente, Villavicencio *et al.* (2010) reportan que los municipios de Parras de la Fuente, General Cepeda y Ramos Arizpe aportan la mayor producción de orégano (700 toneladas), y en la Comarca Lagunera se producen anualmente hasta 1,000 toneladas de orégano, aunque este volumen varía según la presencia e intensidad de las lluvias, y la demanda del mercado nacional e internacional.



**Figura 1.** Estados productores de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K) en México.

Diversos autores sugieren que el uso del orégano tiene su origen a partir de la necesidad de conservar los alimentos por más tiempo, o bien para eliminar o disminuir olores desagradables, aunque ahora se utiliza como condimento de platillos típicos tanto nacionales como internacionales. En las comunidades rurales se aprovecha como especia en diversos alimentos: sopas, menudo, pozole, guisados, papas, adobos, entre otros, y como planta curativa en forma de té: contra la gripe, para problemas respiratorios y mezclado con yerbabuena, contra lombrices.

En la industria, el orégano es una planta muy apreciada como condimento, por sus propiedades aromáticas. El principal producto derivado de su hoja es el aceite esencial (Cano y Villavicencio, 2012), el cual se utiliza como esencia y como fijador de perfumes en el ámbito de la cosmética, así como para la fabricación de jabones y productos de aromaterapia. También se emplea como fijador y saborizante en la industria refresquera, licorera y farmacéutica; en la fabricación de aceite para la aeronáutica y para la limpieza de piezas automotrices, y en la elaboración de veladoras. Al igual que la hoja seca de orégano, el aceite esencial tiene como mercado principal Estados Unidos de Norteamérica, Italia y Japón, y se comer-

cializa en un promedio de 170 dólares por litro, dependiendo de su calidad (Ríos, 2010).

## METODOLOGÍA

El presente estudio –tipificado como no experimental transaccional, con enfoque cualitativo–, se efectuó de junio a octubre del 2014, en una comunidad del sureste de Coahuila (Figura 2). La investigación se realizó en tres etapas: en la primera se hizo una investigación documental para conocer las circunstancias en que se extrae y comercializa el orégano; en la siguiente se entrevistó a las personas que colaboraron en el estudio, y, finalmente, se realizaron cuatro recorridos en la época de colecta.

El ejido Santa Rosa se localiza al sureste del municipio de Saltillo, Coahuila, a una distancia aproximada de 112 km de la ciudad de Saltillo. Se ubica en las coordenadas 101°6' de latitud norte y 24°39' de longitud sur, a una altura de 2,240 msnm. Comprende una extensión de 2,066.2 km<sup>2</sup> donde habitan 129 personas: 56 hombres y 73 mujeres (INEGI, 2010).

La principal actividad económica de la comunidad es la producción de maíz de temporal, y en

menor proporción la de frijol; además, como actividades secundarias se practica la caprinocultura a pequeña escala, la recolección de piñón y orégano, y la venta de piedra laja y postes.

Para el acopio de información se utilizó como instrumento una entrevista semiestructurada compuesta por 30 ítems, con los cuales se abordaron las variables de estudio: el proceso de extracción y secado del orégano, el tiempo que se le dedica a esta actividad, además de la forma de comercialización.

La entrevista se aplicó a cinco informantes clave que se dedican a la colecta y comercialización del orégano, los cuales fueron identificados en el primer acercamiento que se tuvo con la comunidad. Las entrevistas se grabaron para obtener los datos proporcionados por los informantes, y posteriormente se transcribieron y analizaron.

## RESULTADOS

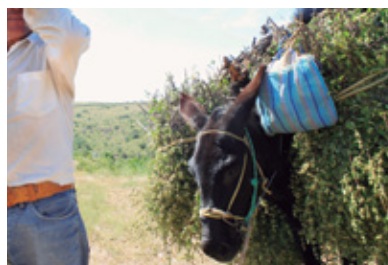
Las familias campesinas, además de practicar la agricultura y la ganadería con fines de autoconsumo, también aprovechan los recursos disponibles en la región que habitan: piedra laja, semillas, frutos secos, hongos y animales silvestres, pues con ello obtienen ingresos con los que complementan sus necesidades económicas. En este apartado se presenta el análisis de la información derivada de las entrevistas administradas a quienes colaboraron en el presente estudio.

En relación con el perfil de las personas dedicadas a la colecta de orégano, los entrevistados aseveraron que la mayoría son casados, con instrucción primaria, y que de ellos dependen económicamente dos o tres personas; su edad oscila entre los 35 y los 64 años, y según señalaron el aprovechamiento del orégano lo iniciaron de manera complementaria, cuando supieron que lo podían vender.

Por otra parte, expresaron que el aprovechamiento del orégano en Santa Rosa data de 1980, y que durante la temporada de recolección participan 28 personas (70% de los varones mayores de 18 años). Esta actividad la realizan durante un lapso de tres a cuatro meses: inicia a finales de junio y se prolonga hasta los meses de septiembre y octubre, tiempo durante el cual acuden a la colecta dos o tres días a la semana, a partir de las seis de la mañana hasta las cinco de la tarde. El peso promedio de cosecha de hoja fresca en un día es de 3 a 4 kg.

De acuerdo con la información recabada, el corte de las ramas de orégano se hace a 10-15 cm de la

base de la planta, cuando ésta alcanza una altura de 25-30 cm, lo cual favorece la regeneración de rebrotes a los 15 días después del corte, y la recuperación de la parte aérea de la planta después de dos meses. A pesar de que el corte de las ramas se ejecuta manualmente, 60% de los entrevistados señalaron que algunas personas extraen toda la planta. Asimismo, aseguraron que durante la temporada de recolección salen en grupos de dos o tres personas, montados en burros o mulas, y realizan un recorrido de 5 km, y al regresar, llevan lo colectado al sitio de secado. De acuerdo con lo expuesto por los entrevistados, la colecta la practican únicamente los varones, en tanto que el proceso de secado lo llevan a cabo las mujeres y niños (Figura 3).



**Figura 3.** Participación de la familia campesina durante el proceso de secado del orégano.

Aunque 20% de los informantes señaló que para secar el orégano cuelgan las ramas cerca del fogón de la cocina, 80% de los entrevistados externó que el proceso de secado se realiza generalmente al frente de las viviendas de los recolectores. El follaje se extiende sobre costales y se expone al sol de dos a tres días, y durante este lapso se remueve el material para que el secado sea uniforme y así evitar su sobreexposición al sol.

Una vez seco el material colectado, se hacen montones y se realizan golpeteos sobre ellos para desprender las hojas de los tallos; posteriormente, las hojas se criban para separar los pequeños tallos que pudieran quedar. Al término de esta actividad, las hojas se colocan en bolsas de hule con capacidad para 2 a 5 kg de orégano deshidratado. Los informantes señalaron que pueden colectar entre 100 y 150 kg de orégano por temporada; una pequeña parte del producto es para autoconsumo y el resto para comercializar.

Uno de los usos más tradicionales que se le da al orégano en la comunidad es como condimento de platillos típicos: pozole, menudo, papas y guisos con diversos tipos de carne. También se utiliza para regularizar el ciclo menstrual y como tisana en el tratamiento de enfermedades respiratorias.



**Figura 4.** Multiplicación del orégano en macetas.

Por otra parte, de acuerdo con la información proporcionada por los entrevistados, la mayoría de los recolectores almacenan las bolsas de orégano destinadas a la comercialización, hasta la llegada de los compradores, quienes fijan el precio de compra, el cual oscila entre 40 y 170 pesos el kilogramo, dependiendo de la oferta y la demanda del producto. Otros campesinos, en cambio, venden el orégano tanto en Saltillo, Coah. como en Concepción del Oro, Zac., en sobres de 10 g, a un precio de venta de 20 pesos. Cabe mencionar que también comercializan las plantas en maceta, que venden a 15 pesos

cuando son para familiares, y a 25 cuando se trata de compradores externos.

Es conveniente señalar que los entrevistados, al momento de realizar la colecta, observaron una disminución en las poblaciones de orégano, lo cual, desde su percepción, ha sido ocasionado por la sobreexplotación y extracción completa de las plantas. Conscientes de que estas acciones pueden agotar el recurso en la región, tratan de contrarrestarlas al res sembrar el orégano que emerge naturalmente en sus parcelas a través de diferentes métodos: separan desde la raíz los tallos más vigorosos y los colocan en macetas (Figura 4), para después de un mes trasplantarlos a cielo abierto; cubren con tierra las ramas más largas para que arraiguen –proceso de seis meses–, y una vez que esto sucede, cortan las ramas y las plantan, para que en un lapso de tres a cuatro meses estén listas para cosecharlas, y han tratado de producir la planta a través del germinado de la semilla, pero no han tenido éxito.

## CONCLUSIONES

La especie de orégano encontrada en el ejido Santa Rosa es *Calamintha potosina*; su aprovechamiento impacta social y económicamente a los pobladores de esta comunidad, ya que complementa el ingreso familiar durante la temporada de colecta del producto.

Los campesinos buscan insertarse directamente en la comercialización del producto, ya sea ofertando la hoja o la planta, tanto localmente como en ciudades cercanas.

Se ha observado una disminución de las poblaciones silvestres de orégano debido a la sobreexplotación y a la extracción de la planta completa, debido a que la mayoría de los colectores desconocen la forma adecuada de cosechar el orégano y su aprovechamiento de manera sustentable.

## LITERATURA CITADA

- CANO, P. A. y G.E.E. Villavicencio (2012). Cultivo de orégano, opción productiva para las zonas semidesérticas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Desplegable para productores No. 28.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (2009). Paquete tecnológico para la producción de orégano (*Lippia* spp.).
- GARCÍA, V. N. A. (2012). Aprovechamiento de orégano silvestre (*Lippia* spp.), en la comunidad de Tesila, El

- Fuerte, Sinaola. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Indígena de México.
- GONZÁLEZ, M.F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. México. 1ª edición. pp. 147.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, Geografía e Informática. 2010. Censo de población y vivienda.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, Agrícolas y Pecuarias. (2012). Cultivo de orégano, opción productiva para las zonas desérticas. Desplegable para productores No. 28. Noviembre, 2012.
- Ríos, R. R. (2010). Comparación de los perfiles de flavonoides de orégano (*Lippia graveolens* HBK. s.l.) de varias poblaciones del Estado de Durango. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Durango.
- VILLAVICENCIO, G. E., O. Ramírez, A. Cano y C. Berlanga. 2007. Orégano, recurso con alto potencial. *Revista Ciencia y Desarrollo*, el conocimiento a tu alcance. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [en línea]. <http://www.conacyt.mx/comunicacion/Revista211/Articulos/Oregano/Oregano.swf>.
- VILLAVICENCIO, G. E., P. A. Cano, C. X.G. García (2010). Metodología para determinar las existencias de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K) en rodales naturales de Parras de la Fuente, Coahuila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- VILLAVICENCIO, G. E., P.A. Cano, E.L.M. Torres, R.J.A. Prieto, (2012). Metodología para el establecimiento de áreas productoras de semilla de orégano (*Lippia graveolens* HBK). En: *Memoria VII Reunión Nacional de Innovación Forestal*. Madrid, A. R.E. y Prieto, R.J.A. (compiladores). Querétaro. P. 40

# Programación de riego con un índice térmico y su efecto sobre el crecimiento y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.)

## Programming of irrigation using a thermal index and its effect on the growth and performance of the corn

Raúl Rodríguez-García<sup>1</sup>, José Antonio Morales-de la Cruz<sup>1</sup>, Diana Jasso-de Rodríguez<sup>1</sup>, José Ángel Villarreal-Quintanilla<sup>1</sup> y Homero Ramírez-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923. CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Email: rrodriguez\_uaan@hotmail.com [\*Autor responsable]. México. CP 25315. Tel.: 844 411 0296.  
e-mail: jmarrey@uaaan.mx\* [\*Autor responsable]

### RESUMEN

Medir la temperatura de las hojas de un cultivo con un termómetro infrarrojo es un medio para detectar el estado hídrico en los cultivos, el método ideal porque no es destructivo, ya que las mediciones son a distancia y pueden escalarse de plantas individuales a campos enteros; con él pueden hacerse mediciones continuas menos costosas que con otros métodos alternativos. El índice térmico Crop Water Stress Index (CWSI) se desarrolló para, con la termometría infrarroja, detectar diferentes niveles de estrés hídrico y programar los riegos. Es una alternativa para monitorear los cultivos en forma extensiva. El objetivo de esta investigación fue evaluar diferentes niveles del CWSI y su efecto sobre el crecimiento y el rendimiento del maíz Var. Asgrow 7573. Los riegos se programaron a valores predeterminados de CWSI en las etapas vegetativa (V) y reproductiva (R): T1 = 0.25V-0.25R; T2 = 0.50V-0.35R; T3 = 0.75V-0.5R; T4 = 0.75V-0.60R; T5 = 0.75V-0.75R. El maíz se sembró el 17 de junio de 2016 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. El CWSI se determinó diariamente a mediodía solar. La evaluación de los tratamientos consistió en la medición del índice de área foliar (IAF), materia seca total (MST), rendimiento de grano (RG) y componentes de rendimiento de grano (CRG). Los análisis estadísticos mostraron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos. En el menor valor del CWSI se obtuvo la mayor MST (T1= 26,815 Kg ha<sup>-1</sup>) y RG (T1=11,596 Kg ha<sup>-1</sup>), y en el valor de mayor índice, la menor MST (T3= 19635 Kg ha<sup>-1</sup>) y RG (T3=9062.7 kgha<sup>-1</sup>). De acuerdo con los resultados, se concluyó que el CWSI puede ser una valiosa herramienta para monitorear el estado hídrico y programar el riego de maíz.

**Palabras clave:** CWSI, crecimiento, rendimiento, Var. Asgrow 7573, maíz

### ABSTRACT

Crop leaves temperature measured with an infrared thermometer or other such remote sensors provides a means for detecting water status in crops. It is an ideal method because it is not destructive, measurements are remote, and they can be scaled from individual plants to whole fields; measurements can be taken continuously and be less expensive than other alternative methods. The Crop Water Stress Index (CWSI) was developed to be used with infrared thermometry to detect different levels of water stress and to program irrigation. This technique, little used in Mexico, is an alternative for extensive crop monitoring. The objective of the research was to evaluate different levels of CWSI and their effect on growth and yield of Asgrow 7573 maize. Irrigations were programmed using predetermined CWSI values in the vegetative (V) and reproductive (R) stages: T1 = 0.25V-0.25R; T2 = 0.50V-0.35R; T3 = 0.70V-0.5R; T4 = 0.70V-0.60R; T5 = 0.70V-0.70R. Maize was planted on June 17, 2016 at the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, in Saltillo, Coahuila, under a random block design with four replicates. The CWSI was determined daily at solar noon. Treatment evaluation consisted in the measurement of leaf area index (LAI) and total dry matter (MST), grain yield (GR) and grain yield components (CRG). Statistical analyzes showed a significant difference ( $p < 0.05$ ) between treatments. In the lower value of the CWSI, the highest MST (T1= 26,815 Kg ha<sup>-1</sup>) and RG (T1 = 11,596 kgha<sup>-1</sup>) were obtained and the lowest MST (T3= 19635 Kg ha<sup>-1</sup>) and RG (T3 = 9062.7 kgha<sup>-1</sup>). CWSI can be a valuable tool for monitoring water status and scheduling irrigation in maize.

**Key words:** CWSI, growth, yield, Var. Asgrow 7573, corn

## INTRODUCCIÓN

La transpiración es un proceso que disipa parte de la energía solar absorbida por las hojas y regula su temperatura. La planta bajo estrés hídrico cierra los estomas y la transpiración se reduce, lo que disminuye la disipación de la energía solar y provoca un incremento de temperatura de las hojas, en tanto que las plantas sin estrés hídrico tienden a tener menor temperatura (Taghvaeian *et al.*, 2012). El índice de estrés hídrico del cultivo es un índice térmico que desarrollaron Idso *et al.* (1981), el cual ubican entre dos límites térmicos: uno de no estrés o límite inferior  $(T_h - T_a)_{Li}$  y otro de máximo estrés  $(T_h - T_a)_{Ls}$ ; con este índice se determinan valores diarios de diferencia de temperatura entre la hoja y el aire sobre el cultivo  $(T_h - T_a)_x$ . El rango de valores es 0 a 1, donde 0 es no estrés y 1 máximo estrés (ecuación x) (Idso *et al.*, 1982). Las mediciones de  $T_h$  se realizan utilizando radio termómetros (termómetro infrarrojo) o fotografía infrarroja, que se conoce como termometría infrarroja (Jackson *et al.*, 1981).

El monitoreo del estrés hídrico de los cultivos bajo riego es fundamental para optimizar su rendimiento. Para llevarlo a cabo es necesario un alto número de sensores que supervisen continuamente el estado hídrico del suelo y los cultivos (Playan *et al.*, 2014). La termometría infrarroja es un método ideal para controlar el estrés, debido a que no es un método destructivo, ya que las mediciones de temperatura de la hoja se hacen a distancia, y pueden escalarse de plantas individuales a campos enteros, además de que se pueden hacer mediciones, que resultan menos costosas que otros métodos alternativos (Nayak, 2005). Con el propósito de evaluar la aplicación del cwsí para programar los riegos se han realizado investigaciones en diferentes cultivos y lugares del mundo. En Colorado, USA, Alderfasi y Nielsen (2001) utilizaron este índice para programar riego en trigo y monitorear el estado hídrico de la planta; en Turquía, Orta *et al.* (2002) lo implementaron en girasol; Cremona *et al.* (2004) en colinabo, Erdem *et al.* (2006a y b) en frijol y papa, y en brócoli (2010); Sezen *et al.* (2014) evaluaron el índice para programar riego en pimiento morrón bajo riego por surcos y goteo.

La aplicación del cwsí en maíz ha sido el tema de numerosos estudios recientes. Chen *et al.* (2010) evaluaron índices de intensidad y grado de sequía del suelo y el cwsí para programar el riego en maíz, y determinaron que estos índices deben comple-

mentarse con el cwsí para programar el riego. Irmak *et al.* (2000), en la región mediterránea de Turquía, evaluaron en maíz tres niveles de abatimiento de la humedad disponible del suelo, y comprobaron la capacidad del cwsí para detectar en la planta las variaciones de contenido de agua en el suelo. En India, Kar y Kumar (2010) determinaron el cwsí en diferentes etapas críticas del maíz de invierno, para determinar si la programación de riego basado en la fenología puede optimizarse con el índice. En China, Li *et al.* (2010) estudiaron la utilidad del cwsí para cuantificar el estrés hídrico en trigo y maíz al compararlo con mediciones de flujos de calor latente y de dióxido de carbono. Payero e Irmak (2006) evaluaron la utilización de líneas base superior e inferior dinámicas, para calcular el cwsí en maíz y soya: la línea base inferior (no estrés) se determinó en función del déficit de la altura de la cubierta, presión de vapor del aire, radiación solar y velocidad del viento, y el límite superior (máximo estrés) en función de la radiación solar y la velocidad del viento. El autor cita que las nuevas líneas base facilitan la aplicación del cwsí como herramienta para programar los riegos.

Con el propósito de obtener una exploración más dinámica del estado hídrico de las plantas (O'Shaughnessy *et al.*, 2012b; Peters and Evett, 2008), en estudios recientes se han utilizado sistemas de riego de movimiento lineal o pivote central con radiotermómetros para realizar mediciones de temperatura del follaje. También se han utilizado cámaras infrarrojas de imagen térmica montadas en vehículos aéreos no tripulados (UAV) para cuantificar el estrés hídrico (Bellvert *et al.*, 2013), lo mismo que para detectar los cambios fisiológicos provocados en un olivar por *Verticillium* (Calderón *et al.*, 2013).

Esta técnica para detectar el estrés hídrico y programar riego ha sido poco investigada en México (Lopez *et al.*, 2009). En nuestro país también se está promoviendo la utilización de vehículos no tripulados para la detección de estrés y el estado fisiológico de las plantas. Por lo anterior, es importante efectuar estudios de campo que permitan determinar la relación del índice con variables fisiológicas del cultivo bajo diferentes niveles de estrés hídrico. En este contexto, el interés de esta investigación fue utilizar el cwsí para monitorear el riego en el cultivo de maíz y determinar su respuesta a diferentes niveles de estrés hídrico, con la finalidad de disponer de una técnica que sea segura, confiable y que pueda escalarse a mayores superficies.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se ubicó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son: 25°21'14" N, 101°02'08" O, a una altitud de 1743 msnm.

### Tratamientos a evaluar

Se evaluó la aplicación del riego en cinco niveles predeterminados del cwsI (Cuadro 1) en las etapas vegetativa y reproductiva, que cubrieran un rango de menor estrés (cwsI = 0.25) a mayor estrés (cwsI = 0.70). El índice se obtuvo con la siguiente ecuación (Idso *et al.*, 1981; Jackson *et al.*, 1981):

$$CWSI = \frac{(T_h - T_a)_{Li} - (T_h - T_a)_x}{(T_h - T_a)_{Li} - (T_h - T_a)_{Ls}} \quad (1)$$

Donde:

CWSI= Índice de estrés hídrico del cultivo

$T_h$  = Temperatura de las hojas o dosel (°C)

$T_a$  = Temperatura del aire (°C)

$(T_h - T_a)_{Li}$  = Límite inferior de no estrés hídrico (°C)

$(T_h - T_a)_{Ls}$  = Límite superior de máximo estrés hídrico (°C)

$(T_h - T_a)_x$  = Diferencia de temperatura medida diariamente (°C)

El valor diario del  $(T_h - T_a)_{Li}$  se calculó con la ecuación de regresión que obtuvieron experimentalmente Idso *et al.* (1981), y que han utilizado De Jonge *et al.* (2015):

$$(T_h - T_a)_{Li} = a - b \text{ DPV}$$

En la Figura 1 se muestra  $(T_h - T_a)$  en función del DPV.

Donde:

a = Intercepto (3.11) de relación lineal que ha sido obtenida previamente para el maíz

b = Pendiente (-1.9) de relación lineal que ha sido obtenida previamente

DPV = déficit de presión de vapor de agua (KPa) =

$$DPV = (e^{\circ}_{hoja} - e^{\circ}_{aire})$$

$e^{\circ}_{aire}$  = Presión del vapor de agua a saturación (KPa)

$e^{\circ}_{hoja}$  = Presión parcial del vapor de agua (KPa)

El valor de  $(T_h - T_a)_{Ls}$  se calcula para el valor de temperatura del aire al momento de la medición, de acuerdo al procedimiento recomendado por Idso *et al.* (1981), cuando se obtiene la siguiente igualdad:

$$GPV = DPV$$

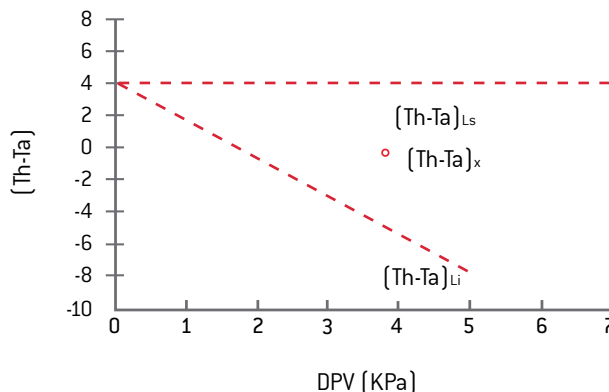
Donde:

GPV = gradiente de presión de vapor entre hoja y el aire =  $GPV = (e^{\circ}_{hoja} - e^{\circ}_{aire})$

$e^{\circ}_{hoja}$  = presión de vapor a saturación en la hoja (estomas) (KPa)

**Cuadro 1.** Valores de CWSI programados para efectuar los riegos en dos etapas de desarrollo en el cultivo de maíz variedad ASGROW 7573.

Tratamiento	Etapas	
	Vegetativa	Reproductiva
T1	0.25	0.25
T2	0.50	0.35
T3	0.50	0.50
T4	0.70	0.60
T5	0.70	0.70



**Figura 1.** Límite superior e inferior del CWSI.

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Cada tratamiento se estableció en una parcela con dimensión 9.6 \* 30 m, cada parcela fue dividida en cuatro repeticiones de 9.6 \* 7.5 m. El 17 de junio de 2016 se sembró la variedad ASGROW 7573, con una separación entre surcos de 0.8 m y de 0.2 m entre plantas, y una densidad de población de 62,500 plantas/ha. Previo a la siembra se preparó el terreno con un barbecho y un rastreo, y se aplicó un riego el 11 de junio.

Las mediciones de la temperatura de la hoja (hojas o dosel) se iniciaron a partir de los 35 DDS, entre las 12:00 y 13:00 horas local, periodo del día en que se detectan las mayores diferencias del índice debido al estrés hídrico (Taghvaeian *et al.*, 2012). Inicialmente la medición se efectuó en plantas individuales debido a que en esta etapa el cultivo no tenía cobertura completa, para lo cual se utilizó un termómetro infrarrojo manual (marca EXTECH Instruments). Se hicieron 16 mediciones por parcela (dos mediciones por repetición), visando las plantas del centro de la parcela. La temperatura del aire y humedad relativa se midieron al mismo tiempo con un hidro-termómetro digital (modelo EA25), y los valores obtenidos se utilizaron para calcular el DPV. Cuando la planta tenía 60 DDS, las mediciones de temperatura de la hoja se realizaron con un termómetro infrarrojo Apogee (modelo MI-230). El sensor se colocó a un metro sobre el dosel, a un ángulo de 45° para visar únicamente las hojas del centro de la parcela, y la emisividad del sensor fue de 0.95 (Zia *et al.*, 2011), con un error de medición de ± 0.4° C. El tiempo de medición de todos los tratamientos fue de 20 minutos.

Se realizaron muestreos a una profundidad de 0–80 cm (estratos de 20 cm), para determinar el contenido de agua por el método gravimétrico. El agua aplicada en cada riego fue la necesaria para llevar a capacidad de campo el perfil de profundidad. El requerimiento de riego se calculó con la siguiente ecuación:

$$Lr = \frac{(\theta_{vcc} - \theta_{ux})}{100} \times prf. \quad (2)$$

Donde:

Lr = lámina de riego (cm)

$\theta_{vcc}$  = contenido de humedad a capacidad de campo (% v/v)

$\theta_{ux}$  = contenido de humedad en el día de muestreo x (% v/v)

prf. = profundidad del suelo (cm)

Antes del cultivo, se obtuvieron muestras de suelo por estratos de 20 hasta 80 cm de profundidad para el análisis físico-químico de las muestras en el Laboratorio de Aguas Residuales del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Propiedades físico-químicas del suelo.

	Estrato del suelo [cm]			
	0-20	20-40	40-60	60-80
Ph	8.04	8.06	8.17	7.99
C.E. [Ds/m]	1.26	1.39	1.33	1.09
Materia orgánica [%]	2.11	2.01	1.58	1.82
Nitrógeno [%]	0.1	0.09	0.08	0.09
Fósforo [%]	53.8	54.3	43.2	38.2
Potasio [%]	611	333	201.6	208.3
Carbonatos totales [%]	54.8	54.8	54.4	53.9
Arcilla [%]	30.2	31.4	31.7	32.9
Limo [%]	21.7	19.7	20.6	21.0
Arena [%]	48	48.8	47.6	46.1
CC [% v/v]	27.6	26.8	25.7	24.9
PMP [% v/v]	15.4	14.8	14.0	13.4

Los riegos se suministraron mediante un sistema de riego por aspersión, a una velocidad de precipitación promedio ( $V_p$ ) de 1 cm/hora. La dosis de fertilización fue de 253-44-33 (N - P - K en Kg ha<sup>-1</sup>). Antes del riego de presiembra se aplicó una dosis de 54 - 44 - 22, a los 41 DDS de 132 - 0 - 11 y a los 66 DDS de 67 - 0 - 0.

Las variables que se evaluaron para detectar el efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento del cultivo fueron: el IAF, la MST, el RG y los CRG.

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron nueve muestreos de plantas, en los que se cosecharon 16 plantas por tratamiento (cuatro por repetición). En el laboratorio se separaron hoja y tallo. El área de las hojas se determinó siguiendo el procedimiento recomendado por Tanaka y Yamaguchi (1984): se midió el largo y ancho de las hojas y su producto, que se multiplicó por el factor de corrección 0.75, para después calcular el IAF. Posteriormente, para obtener el peso seco y calcular el rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, las hojas y tallos, se colocaron en una estufa de secado, a una temperatura de 65° C durante 96 horas.

Para obtener RG y CRG, se cosecharon 40 plantas por repetición (la parcela útil fue de 25.6 m<sup>2</sup>). Las mazorcas se secaron por 15 días en un área protegida de la lluvia con techo transparente, se desgranaron y se pesó el grano. A continuación se tomó una muestra de cinco mazorcas por repetición, se contabilizó el número de granos por mazorca, luego se tomó una submuestra de 100 granos para determinar el peso seco de grano y corregir a peso seco el grano de la repetición, para posteriormente calcular el rendimiento en ton ha<sup>-1</sup>.

Para la evaluación de las variables se utilizó un diseño estadístico de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey  $P < 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó la aplicación del riego en cinco niveles pre-determinados del cwsI, en las etapas vegetativa y re-productiva, que cubrieran un rango de menor a mayor estrés hídrico. En la etapa vegetativa, durante el periodo del inicio de las mediciones de los 35 DDS al día 50 DDS, el tratamiento T1 recibió dos riegos y los otros cuatro tratamientos sólo uno (Figura 1); el contenido de humedad en el suelo (CHS) antes de cada riego fue de: T1= 22.02% y 20.90%, T2= 22.48%, T3= 21.02%, T4= 21.18%, T5= 18.29%, que corresponden

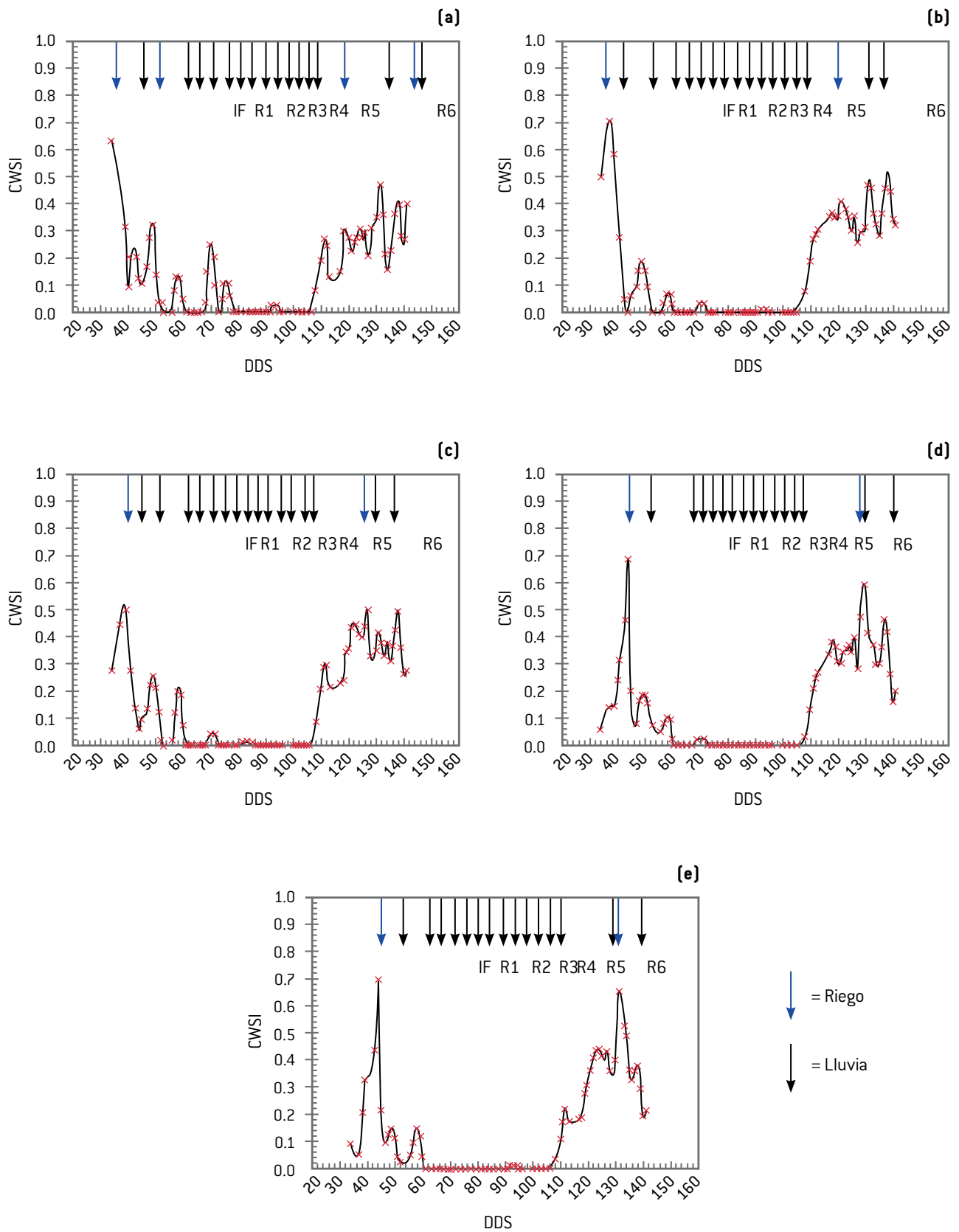
a los valores de humedad disponible antes del riego entre un 60% y 40%, como se muestra en la Figura 2. Los índices en el periodo de 60 a 110 DDS (de la fase V a R2), fluctuaron de 0 a 0.10 en todos los tratamientos, lo cual se debió a que en este periodo hubo precipitaciones de 200.4 mm, lo que mantuvo el contenido de humedad alto en el suelo, en todos los tratamientos (Figura 2), y propició que la planta se desarrollara en condiciones óptimas de no estrés hídrico. En el periodo de 110 a 145 (de la fase R2 a R5), el valor del índice se incrementó en los tratamientos debido al efecto combinado de demanda hídrica de la atmósfera y el déficit progresivo de agua en el suelo.

El T1 recibió dos riegos y los otros cuatro tratamientos sólo uno (Figura 1); el contenido de humedad en el suelo antes de cada riego fue de: T1= 24.2% y 18.8%, T2= 18.5%, T3= 17.5%, T4= 16.9%, T5= 15.9%; los valores de HDS antes del riego fluctuaron de 80% en T1 a 10% en T5 (Figura 2); los tratamientos más estresados alcanzaron valores cercanos a PMP.

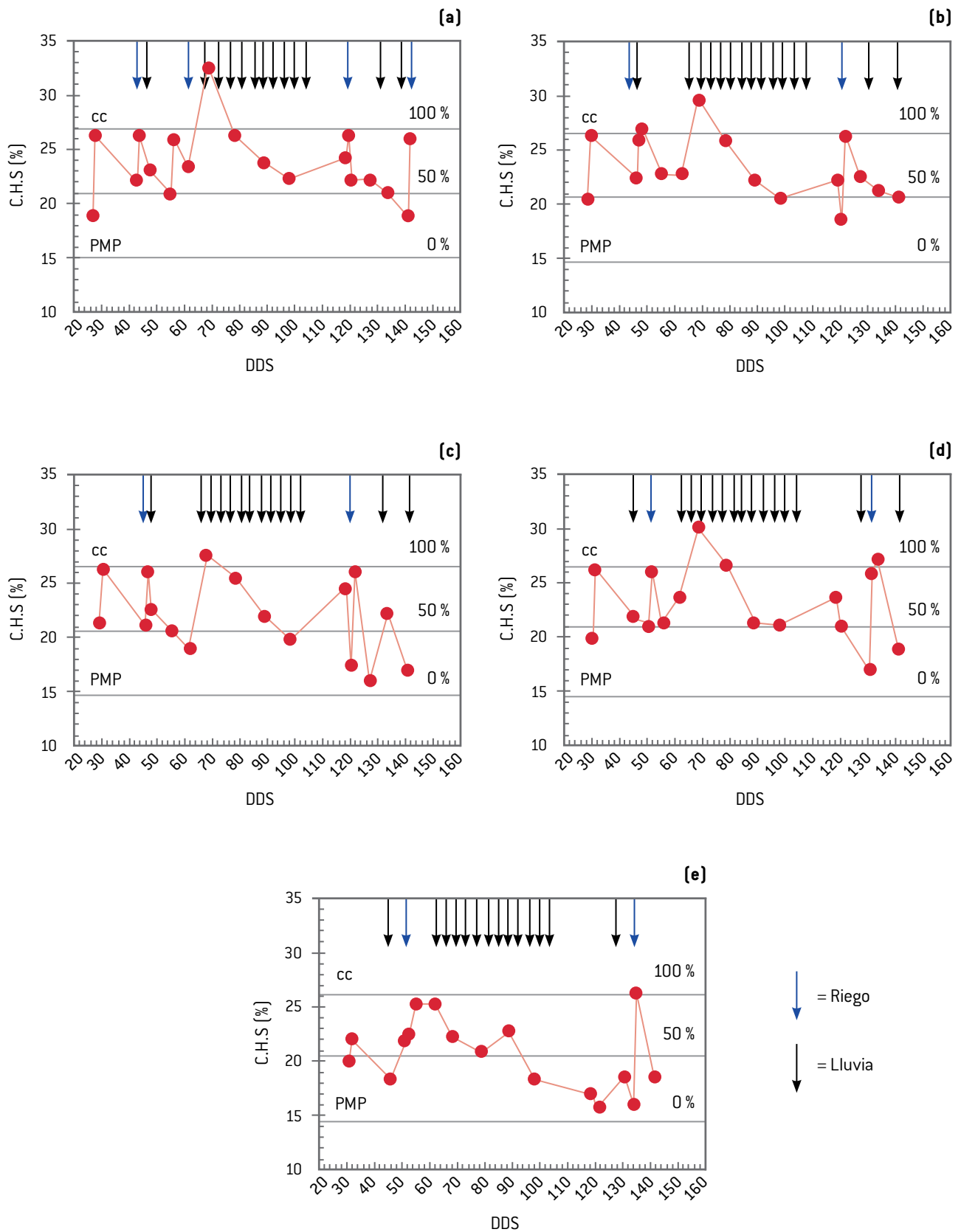
Agam *et al.* (2013) mencionan que la cobertura de nubes reduce instantáneamente la radicación neta y la energía disponible, lo que altera el balance energético de la superficie, en tanto que la radiación de onda corta disminuye y altera la temperatura de la copa de la planta. De Jonge *et al.* (2015) mencionan que, bajo estrés hídrico, en un día soleado, ventoso y seco, los cultivos se marchitan y el cwsI estaría bien representado. Maes *et al.* (2012) señalan que la temperatura de la hoja está influenciada por la altura y estructura del dosel.

Los datos utilizados de CHS representan la condición de contenido de agua en el suelo en la zona de raíz (80 cm), en una superficie a campo abierto. Los resultados obtenidos en este estudio muestran una relación negativa entre las variables cwsI y CHS, a medida que el agua en la zona de la raíz del cultivo se fue agotando, el cwsI incrementó, como se muestra en la Figura 4. Las condiciones meteorológicas, como también las características de cultivo, juegan un papel muy importante al momento de comparar cwsI VS CHS. Taghvaeian *et al.* (2012) encontraron buena correlación entre estas dos variables, y citan que una buena relación entre estas dos variables puede utilizarse para determinar la cantidad de agua de riego que necesita aplicarse a un valor de cwsI.

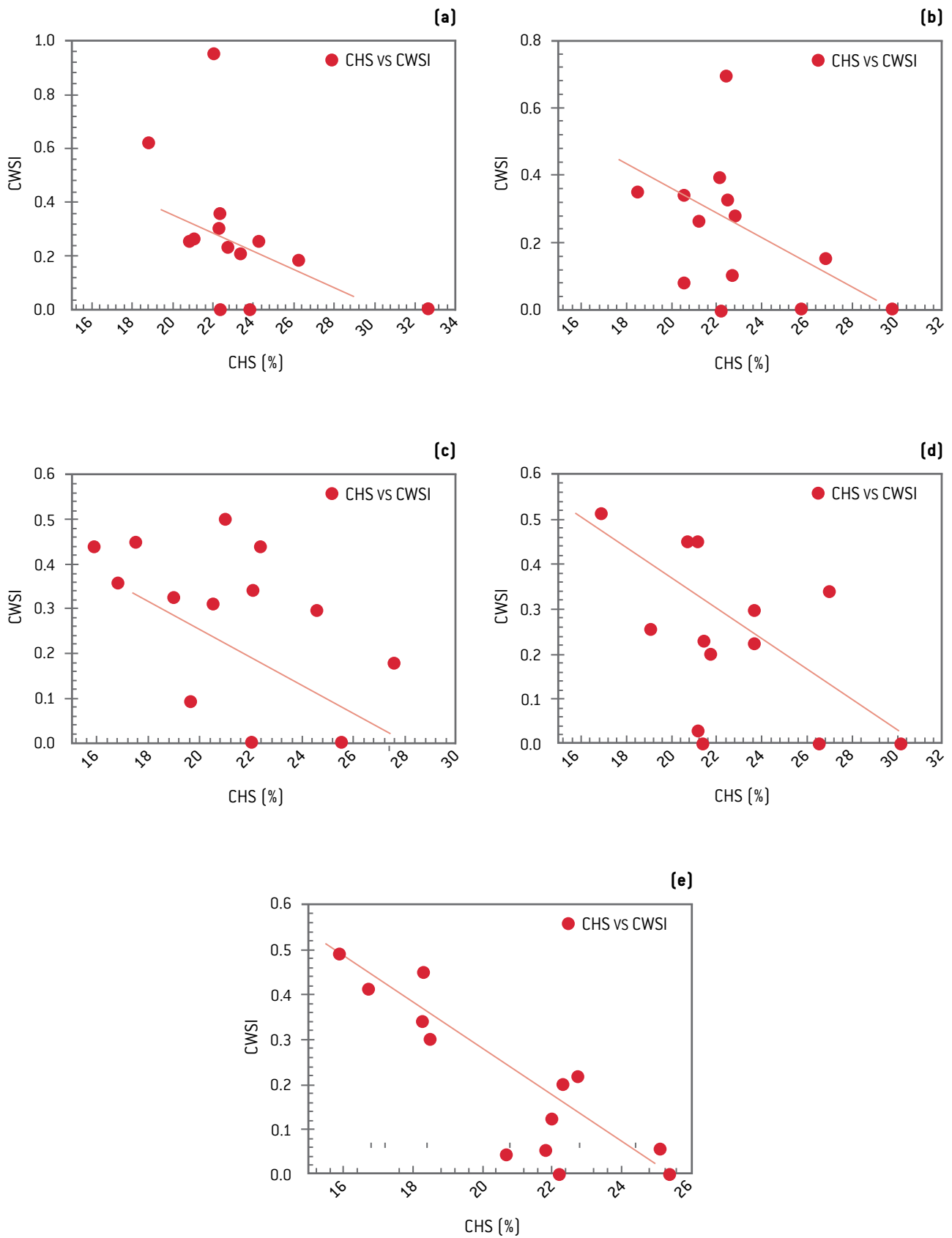
En la Figura 4 se muestra el IAF de los tratamientos evaluados. El mayor promedio del IAF se obtuvo en floración: T1= 5.9, T2= 5.3, T3= 5, T4= 4.4 y T5= 4.1. Si bien hubo diferencias numéricas estadís-



**Figura 2.** Evolución del CWSI durante el ciclo del cultivo en los tratamientos, T1 [a]; T2 [b]; T3 [c]; T4 [d] y T5 [e].



**Figura 3.** Contenido de humedad en el suelo [CHS] durante del ciclo del cultivo en los tratamientos, T1 (a); T2 (b); T3 (c); T4 (d) y T5 (e).



**Figura 4.** Evolución del CWSI en los diferentes tratamientos en relación con el CHS [% , v/v].

ticamente, los tratamientos fueron iguales, lo que se puede atribuir a que durante la etapa vegetativa las plantas se encontraban en óptimas condiciones de humedad debido a los eventos de precipitación que ocurrieron en esta etapa. Los IAF medidos en esta investigación fueron similares a los reportados por Farré *et al.* (2009) y Bouazzama *et al.* (2012), quienes reportan a la floración de maíz un valor máximo de 5.8 y 4.8, respectivamente, para el tratamiento en condición óptima de manejo de agua.

La producción de MST en los diferentes tratamientos fue de: T1= 26,815 Kg ha<sup>-1</sup>, T2= 23,548 Kg ha<sup>-1</sup>, T3= 19635 Kg ha<sup>-1</sup>, T4= 22048 Kg ha<sup>-1</sup>, T5= 23236 Kg ha<sup>-1</sup>. La mayor producción se presentó en el T1 y la menor en el T3, como se muestra en la Figura 5. En esta investigación no se encontraron diferencias de MST debido a las intensas lluvias presentadas en etapa vegetativa del cultivo. Los valores de MST obtenidos en esta investigación fueron similares a los reportados por Gheysari *et al.* (2017) y Farré *et al.* (2009), que en condiciones óptimas de manejo obtuvieron 26.8 ton Ha<sup>-1</sup> y 23.97 tha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Como se citó anteriormente, los tratamientos se diferenciaron durante la etapa reproductiva, de la fase R2 a R5. Los tratamientos T1 y T2, que estuvieron en condiciones óptimas de manejo de agua: cws<sub>i</sub> = 0.25 y 0.35 en esta etapa, obtuvieron el mayor peso en 100 granos: 37.9 g y 37.6 g, y el mayor rendimiento: 11,596 kg ha<sup>-1</sup> y 11,239 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 3). Los tratamientos T3, T4 y T5, que tuvieron un mayor estrés hídrico en esta etapa: cws<sub>i</sub> = 0.5, 0.6 y 0.7, respectivamente, debido a la sensibilidad del maíz al estrés, tuvieron reducción en el peso de 100 granos: T1= 34.3 g; T2= 35.9 g y T3= 34.3 g, que influyó en un menor rendimiento de grano: T1= 9,062 kg ha<sup>-1</sup>; T2= 9,842 kg ha<sup>-1</sup> y T3 = 9,842 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 3). Ayana (2011) e Igbadun *et al.* (2007) reportaron que el efecto del estrés hídrico en la etapa de floración o reproducción afecta severamente el rendimiento comparado con el estrés en la fase vegetativa de la planta. Irmak y Bastug (2000), en un clima semiárido mediterráneo, evaluaron el efecto de diferente disponibilidad de agua en el suelo en un cultivo de maíz var. Antbey y otros encontraron que el valor medio de cws<sub>i</sub> de 0.22 antes de los

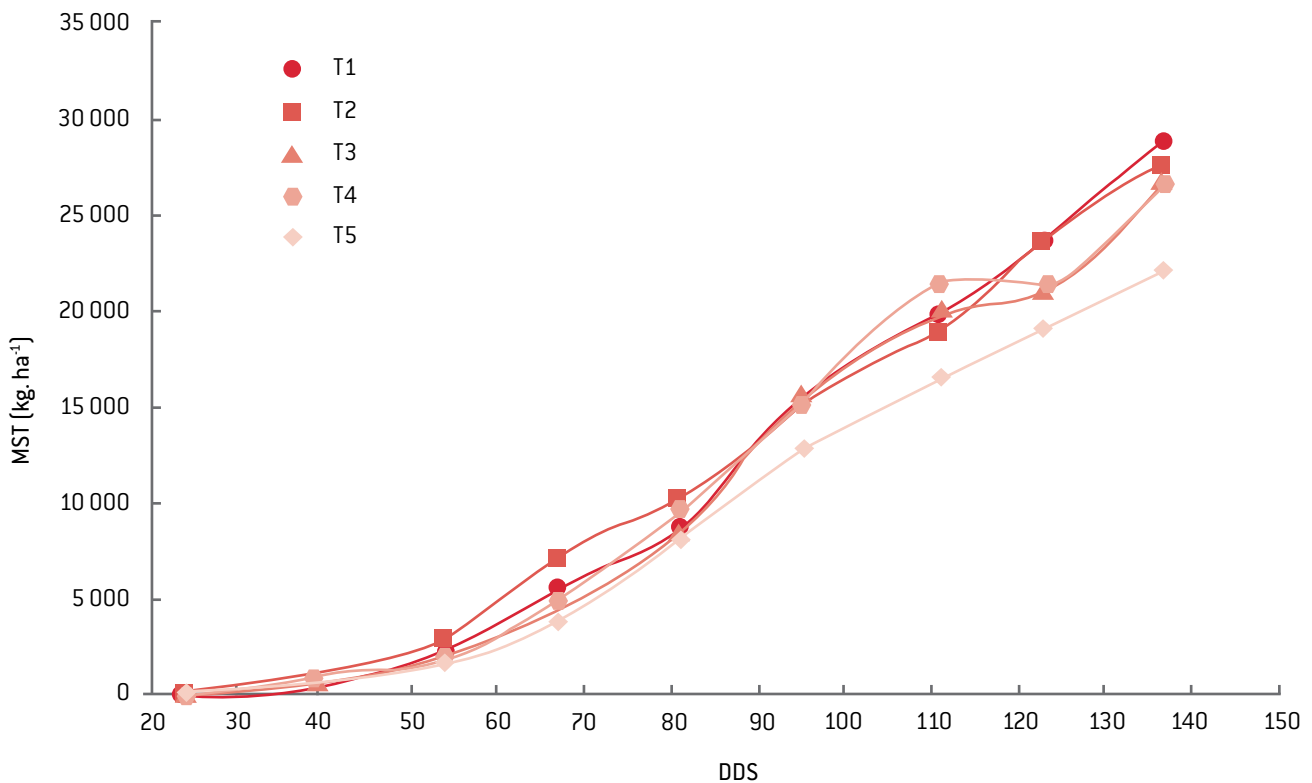


Figura 5. Evolución en el tiempo de materia seca total.

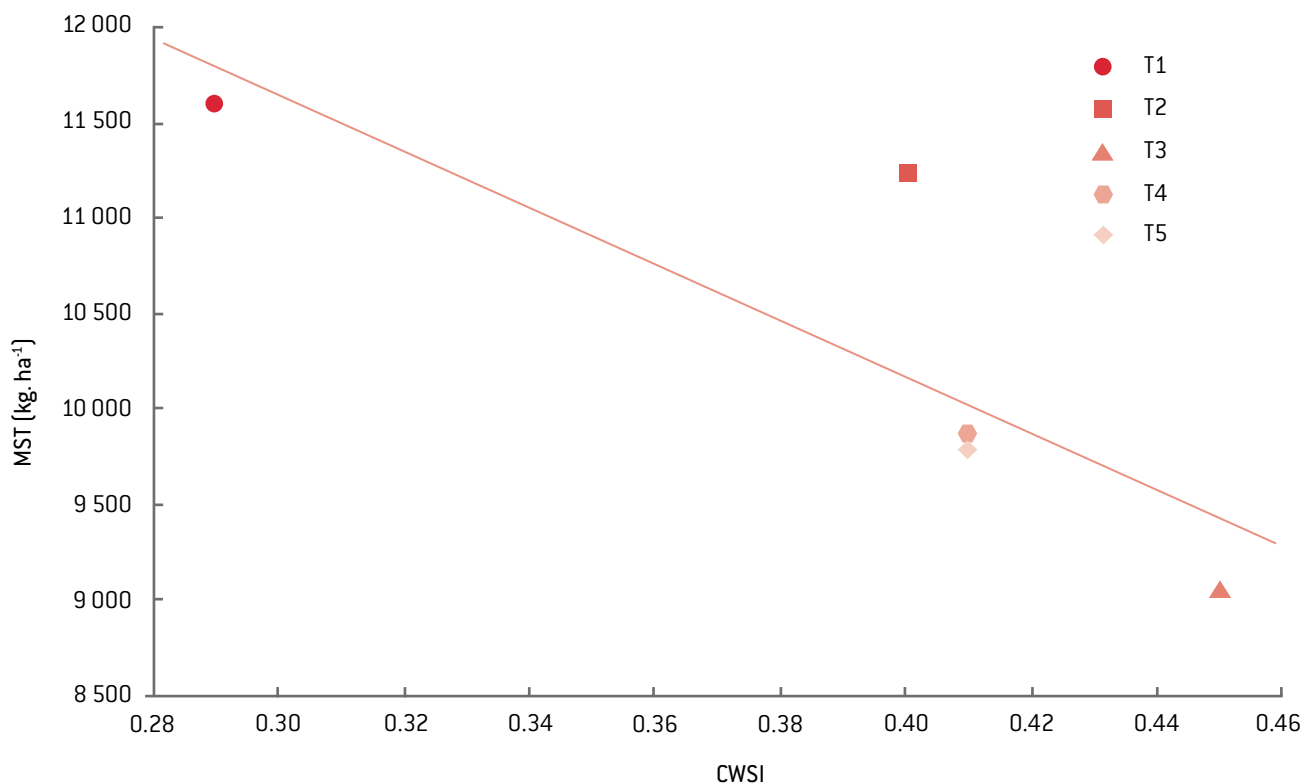
riegos corresponde al mayor rendimiento del grano (6,058 kg ha<sup>-1</sup>). Por otra parte, Kar y Kumar (2010) consideran que para el maíz en un clima subhúmedo-subtropical de la India, el cwsí que se recomienda para obtener un rendimiento óptimo de maíz es de 0.4 en la etapa de floración y 0.6 en las otras etapas.

La relación entre cwsí y el rendimiento de grano fue básicamente lineal, como se muestra en la Figura 6. Orta *et al.* (2003) e Irmak y Bastung (2000) mencionan que el rendimiento se correlaciona directamente con los valores del cwsí y se puede usar para la predicción de rendimientos.

**Cuadro 3.** Comparación de medias del peso de 100 granos y rendimiento de grano en los tratamientos.

	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento de grano (kg/ha)
T1	37.96a	11596.3a
T2	37.68a	11239.6a
T3	34.38b	9062.7b
T4	35.94ab	9842.3ab
T5	34.34b	9764.5ab
C.V	3.04	9.12

Valores con la misma letra son iguales entre sí (Tukey P<0.05), CV: coeficiente de variación en %.



**Figura 6.** Rendimiento de grano de maíz en función del valor medio de CWSI en la etapa reproductiva.

## CONCLUSIÓN

Los resultados mostraron que el CWSI es una técnica eficiente para monitorear y cuantificar estrés hídrico en el maíz, ya que responde a la disponibilidad de agua en el suelo, a los eventos de riego y a las condiciones climáticas. Se determinaron relaciones entre CWSI, el contenido de agua en el suelo y rendimiento de grano. Con base en estos resultados, un CWSI de 0.25 en etapa vegetativa y reproductiva antes del riego producirá el máximo crecimiento vegetativo y rendimiento de grano. La termometría infrarroja, un método que no es destructivo, es potencialmente prometedor para detectar estrés hídrico en maíz, ya que puede monitorear el estado hídrico de un cultivo en una mayor superficie que los métodos tradicionales.

## LITERATURA CITADA

- AGAM, N., Cohen, Y., Alchanatis V., Ben-Gal A. (2013). How sensitive is the CWSI to changes in solar radiation? *International journal of remote sensing* 34(17): 6109-6120.
- ALDERFASI, A. A., Nielsen D.C. (2001). Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. *Agricultural Water Management* 47: 69-75.
- AYANA, M. (2011). Deficit irrigation practices as alternative means of improving water use efficiencies in irrigated agriculture: Case study of maize crop at Arba Minch, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 226-235.
- BELLVERT, J., Zarco-Tejada P. J., Girona J., Fereres E. (2014). Mapping crop water stress index in a 'Pinot noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture*, 15: 361-376.
- BOUZZAMA, B., Xanthoulis D., Bouaziz A., Ruelle P. Mailhol J.C. (2012). Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in semi-arid climate of Tadla (Morocco). *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 16: 468.
- CALDERÓN, R., Navas-Cortes, J.A., Lucena, C., Zarco-Tejada, P.J. (2013). High resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*. 139: 231-245.
- CREMONA, M.V., Stützel H., Kage H. (2004). Irrigation Scheduling of Kohlrabi (*Bras-sicaoleracea* var. *Gongyloides*) Using Crop Water Stress Index. *Hort Science*. 39: 276-279.
- CHEN, J., Lin L., Lü G. (2010). An index of soil drought intensity and degree: an application on corn and a comparison with CWSI. *Agricultural Water Management*. 97: 865-871.
- DE JONGE, K. C., Taghvaeian S., Trout T. J., Comas L.H. (2015). Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agricultural Water Management*. 156: 51-62.
- ERDEM, Y., Arin L., Erdem T., Polat S., Deveci M., Okursoy H., Gültas H. (2010). Crop water stress index for assessing irrigation scheduling of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). *Agricultural Water Management*. 98: 148-156.
- ERDEM, Y., Sehirali S., Erdem T., Kenar D. (2006a). Determination of crop water stress index for irrigation scheduling of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turk.J. Agric. Forest*. 30: 195-202.
- ERDEM, Y., Erdem T., Orta A.H., Okursoy H. (2006b). Canopy-air temperature differential for potato under different irrigation regimes. *Acta Agric. Scand*. 56: 206-216.
- FARRÉ, I., Faci J.M. (2009). Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 96: 383-394.
- GHEYSARI, M., Sadeghi S. H., Loescher H.W., Amiri S., Zareian M. J., Majidi M. M., Payero J.O. (2017). Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. *Agricultural Water Management* 182: 126-138.
- IDSO, S.B. (1982). Now Water Stressed Baselines a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* 27: 59-70.
- IDSO, S.B., Jackson R. D., Pinter P. J., Reginato R. J., Hatfield J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology* 24: 45-55.
- IRMAK, S., Haman D. Z., Bastug R. (2000). Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal* 92: 1221-1227.
- IGBADUN, H.E., Tarimo A.K. Salim B. A. Mahoo H.F. (2007). Evaluation of selected crop water production functions for an irrigated maize crop. *Agricultural Water Management* 94: 1-10.
- JACKSON, R.D., Idso S.B., Reginato R.J., Pinter P.J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research* 17: 1133-1138.
- KAR, G., Kumar A. (2010). Energy balance and crop water stress in winter maize under phenology-based irrigation scheduling. *Irrigation Science*, 28: 211-220.

- LI, L., Nielsen D.C., Yu Q., Ma L., Ahuja L.R. (2010). Evaluating the crop water stress index and its correlation with latent heat and CO<sub>2</sub> fluxes over winter wheat and maize in the north China plain. *Agricultural Water Management* 97: 1146–1155.
- LÓPEZ-LÓPEZ, R., Arteaga-Ramírez R., Vázquez-Peña M. A., López-Cruz I. L., Sánchez-Cohen I., Ruiz-García A. (2009) Índice de estrés hídrico del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 259-267.
- MAES, W. H., Steppe K. (2012). Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of Experimental Botany* 63: 4671-4712.
- NAYAK, S.S. (2005). Thermal imagery and spectral reflectance based system to monitor crop condition. Mechanical Engineering Department, Texas Tech University, Lubbock, TX
- O'SHAUGHNESSY, S.A., Evett S.R., Colaizzi P.D., Howell T.A. (2012). Grain sorghum response to irrigation scheduling with the time-temperature threshold method and deficit irrigation levels. *Transaction ASABE* 55: 451–461.
- ORTA, A.H., Erdem T., Erdem Y. (2002). Determination of water stress index in sun-flower. *Helia* 37: 27–38.
- PAYERO, J.O., Irmak S. (2006). Variable upper and lower crop water stress index base-lines for corn and soybean. *Irrigation Science* 25: 21–32.
- PLAYAN, E., Salvador R., López C., Lecina S., Dechmi F., Zapata N. (2014). Solid-set sprinkler irrigation controllers driven by simulation models: opportunities and bottle necks. *J. Irrig. Drain. E* 140: 04013001.
- PETERS, R.T., Evett S.R. (2008). Automation of a center pivot using the temperature-time-threshold method of irrigation scheduling. *Journal Irrigation Drainage Engineering* 134: 286–291.
- SEZEN, S.M., Yazar A., Yıldız D., Yucel S., Akildiz A., Tekin S., Akhoundnejad Y. (2014). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 143: 115–131.
- TAGHVAEIAN, S., Chávez J.L. y Hansen N.C. (2012). Infra-red thermometry to estimate crop water stress index and water use of irrigated maize in Northeastern Colorado. *Remote Sensing* 4: 3619-3637.
- TANAKA, A. y Yamaguchi J. (1984). Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 120 p.
- ZIA, S., Spohrer K., Wenyong D., Spreer W., Romano G. y Xiongkui H. (2011). Monitoring physiological responses to water stress in two maize varieties by infrared thermography. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 4(3): 7-15.

# Calidad fisiológica de semilla en seis genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)

## Seed physiological quality in six genotypes of jalapeno pepper (*Capsicum annuum* L.)

Hipólito Hernández-Hernández<sup>1</sup>, David Sánchez-Aspeytia<sup>2</sup>,  
Mario Ernesto Vázquez-Badillo<sup>\*1</sup>, Norma Angélica Ruiz-Torres<sup>1</sup>, Valentín Robledo-Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Email: marioe.vazquez@hotmail.com [\*Autor responsable]. <sup>2</sup>INIFAP, Campo Experimental Saltillo, Km 342, Carretera Saltillo-Zacatecas.

### RESUMEN

Las semillas de buena calidad genética, física, fisiológica y sanitaria aumentan el rendimiento de un cultivo por unidad de área. Los objetivos de este estudio fueron evaluar los aspectos de calidad fisiológica de la semilla de seis genotipos de chiles jalapeños (*Capsicum annuum* L.). Los experimentos se establecieron en 2013 en el laboratorio de producción de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la UAAAN. Se utilizaron cinco genotipos generados por INIFAP, además de una variedad comercial. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones para evaluar la calidad fisiológica de la semilla: 100 ppm de GA<sub>3</sub>, 2% de KNO<sub>3</sub>, además del control sólo con agua. Con los datos que se obtuvieron se realizó un ANDEVA con el SAS y se compararon las medias de los tratamientos con la prueba de Tukey a p≤0,05. El análisis de varianza detectó diferencias significativas, p≤0.01 para longitud de plúmula y raíz, germinación, semillas sin germinación y peso seco de plúmula y diferencias significativas p≤0.05 para peso de mil semillas y plántulas anormales. Los genotipos 8x4, 3x4 e Isabel presentaron mejor calidad cuando la semilla fue de mayor peso. GA<sub>3</sub> y KNO<sub>3</sub> favorecieron la germinación y el vigor de las semillas en 66% de los genotipos estudiados.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, semilla, germinación y vigor

### ABSTRACT

Seeds of good genetic, physical, physiological and sanitary quality increase yield crop per unit area. The objective of this study was to evaluate the physiological quality aspects of the seed of six jalapeno peppers (*Capsicum annuum* L.) genotypes. The experiments were established in 2013 at the Seed Production Laboratory of the Center for Training and Development of Seed Technology of the UAAAN. Five genotypes generated by INIFAP were used, in addition to a commercial variety. A randomized complete block design with three replicates was used to evaluate three treatments regarding seed physiological quality: 100 ppm GA<sub>3</sub>, 2% KNO<sub>3</sub> and a control using plain water. An ANOVA was performed using SAS software and means comparison was carried out using a Tukey test at p≤0.05. The analysis of variance detected significant differences p≤0.01 for plumula and root length, germination, seeds without germination and dry weight of plumula and significant differences p≤0.05 for weight of one thousand seeds and abnormal seedlings. The 8x4, 3x4 and Isabel genotypes presented better seed quality when they had higher seed weight, seedling size and dry weight. GA<sub>3</sub> and KNO<sub>3</sub> favored seed germination and vigor in 66% of the studied genotypes.

**Key words:** *Capsicum annuum*, seed, germination and vigor

## INTRODUCCIÓN

Las semillas son estructuras que permiten la supervivencia del embrión en el periodo comprendido entre su maduración y el establecimiento de las plántulas para el inicio de la próxima generación (Koornneef *et al.*, 2002). El crecimiento inicial de la semilla se debe a la división y al alargamiento celular que se completan en los primeros días de su formación; después se acumulan reservas en órganos de almacenamiento, lo cual disminuye el contenido de humedad porque las reservas sustituyen el agua de las células (Bradford, 2004). Las principales reservas en las semillas son: los carbohidratos, los lípidos, las proteínas y una pequeña cantidad de fitín (Bewley *et al.*, 2013).

Para el establecimiento de los cultivos, las semillas deben ser de calidad porque incrementan el rendimiento por unidad de superficie y definen el éxito o falla de un cultivo (Bewley y Black, 2000), en particular cuando éste se enfrenta a ambientes de producción estresantes. Según Moreno (1996), las determinaciones del vigor de la semilla son útiles para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del ambiente no son favorables para la germinación y emergencia de las plántulas. Los cuatro componentes que definen la calidad de la semilla son: genéticos, fisiológicos, físicos y fitosanitarios (Gregg y Billups, 2010). Con la calidad fisiológica en *Capsicum* se garantiza el rendimiento, la pungencia, la forma del fruto, el tamaño y el color (Wall *et al.*, 2002), también la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener índices altos de viabilidad (Moreno, 1996). Los componentes determinan las diferencias en las evaluaciones de las plántulas: longitud media de plúmula y radícula, peso seco de plántulas, que pueden ser diferentes entre genotipos, y entre y dentro de lotes de semillas, lo cual se mostró al evaluarse tres tipos de chile maduros: peso de mil semillas, peso volumétrico, porcentaje y velocidad de germinación, que fueron estadísticamente distintos entre genotipos (Ayala *et al.*, 2014). También hubo buena correlación entre el peso de la semilla, el tamaño de plántula y la producción de materia seca (Pablo *et al.*, 2009), el porcentaje de germinación y peso seco de plántula (Álvarez *et al.*, 2011; Zepeda *et al.*, 2002), y la longitud de raíz y la de la parte aérea de la plántula (Álvarez *et al.*, 2011).

Las semillas mejoradas son el medio para incrementar el rendimiento y la calidad de las cosechas,

al servir como puente entre el mejoramiento genético y el productor, lo que permite alcanzar niveles competitivos en la producción (Copeland y McDonald, 2001; Espinosa *et al.*, 2003). Los objetivos del presente estudio fueron evaluar la calidad fisiológica en seis genotipos de chile jalapeño producidos bajo condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El establecimiento del experimento se realizó en 2013 en el laboratorio de ensayos de semillas del CCDTS de la UAAAN, en Saltillo, Coahuila, México. Para el estudio se utilizaron cinco genotipos generados por el INIFAP y una variedad comercial: genotipo 1 denominado M, variedad de polinización abierta; genotipo 2, Apache, variedad de polinización libre y de ciclo intermedio; genotipo 3, Isabel, variedad de polinización libre y precoz; genotipo 4, Chipi, híbrido de cruza simple, con mayor precocidad al primer corte; genotipo 5, denominado 3x4, híbrido experimental, y genotipo 6, 8x4, híbrido experimental. Para evaluar la calidad de las semillas, éstas se extrajeron, con ayuda de un bisturí y guantes, de los frutos maduros producidos en el invernadero del Campo Experimental Saltillo, del INIFAP; después se lavaron con agua limpia y se eliminaron las semillas vanas, para posteriormente secarlas de forma natural durante dos días y almacenarlas otros 30 días en bolsas de papel.

Se evaluó la variable de peso de 1000 semillas (PMS, g): se pesaron ocho repeticiones de 100 semillas en una balanza de precisión Ohaus y se calculó el peso correspondiente (ISTA, 2004). La prueba de germinación se condujo en una cámara germinadora a 25° C con 14 horas de luz (ISTA, 2004), y se colocaron cuatro repeticiones de 25 semillas en papel filtro Whatman No. 2 en cajas petri, a las que se les aplicaron riegos con fungicida Tecto 60, 2 g L<sup>-1</sup>. Los tratamientos fueron: KNO<sub>3</sub> al 2%, AG<sub>3</sub> a 100 ppm, y el testigo con agua solamente. A los 21 DDS se contabilizaron las plántulas normales (germinación G), anormales (PA) y las semillas sin germinar (SSG), y además se midió la longitud de plúmula (LP) y de radícula (LR).

Las plántulas normales se midieron con una regla métrica. Para obtener el peso seco de las plántulas normales, se colocaron en una bolsa de papel perforado y se secaron en una estufa a 70° C durante 24 horas, para luego pesarlas con una balanza de

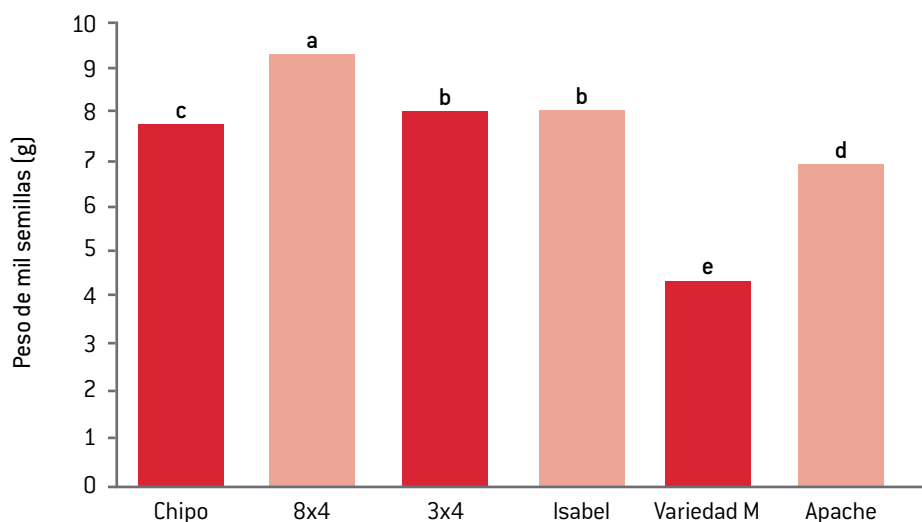
precisión. Con los datos que se obtuvieron se realizó un ANDEVA con el procedimiento ANOVA, GLM y CORR, y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con el software Statistical Analysis System (SAS, 2002, v 9.0).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para PMS se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre genotipos (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con los reportados por Ayala *et al.* (2014) y Pablo *et al.* (2009), al evaluar diferentes colectas de Chile de agua de los valles centrales de Oaxaca. El genotipo 8x4 fue el que presentó mayor PMS, seguido del Isabel y del 3x4. Mientras que Apache y M presentaron menor PMS, tal como se muestra en la Figura 1. También se encontraron diferencias significativas entre genotipos ( $p \leq 0.01$ ) en todas las variables, excepto para PA ( $p \leq 0.05$ ). Entre tratamientos se encontraron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) en LP y LR, lo mismo que en G, SSG y PSP, con 5% de probabilidad de error. En la interacción del genotipo por tratamiento se encontraron diferencias ( $p \leq 0.01$ ) en G, SSG, LP y LR. También se encontró correlación positiva y significativa entre LP-PS (0.70\*\*).

Los genotipos que presentaron mejor porcentaje de G fueron Isabel, 3x4, Chipo y 8x4, que alcanzaron alrededor de 80%; de éstos, Chipo fue el que tuvo mayor porcentaje de PA, mientras que los genotipos que presentaron menor porcentaje en esta variable fueron M y Apache, aunque también presentaron el mayor porcentaje de SSG. En cuanto a PSP, 8x4 y Chipo fueron los de mayor peso, y 8x4 tuvo mayor LP, mientras que Apache la menor longitud (Cuadro 2). En LR, Isabel presentó mayor longitud, mientras que M y Apache la menor. También se observó que 8x4, 3x4 e Isabel registraron mayor PSP, LP y acumulación de materia seca que el resto de los genotipos, por lo que estos resultados son similares a los reportados por Pablo *et al.* (2009) y Gutiérrez *et al.* (2006). Los tratamientos de  $AG_3$  y  $KNO_3$  influyeron en la G, PSP, LP y LR respecto al testigo.

El  $AG_3$  y  $KNO_3$  promovieron la germinación, ya que los genotipos 8x4 e Isabel mostraron un incremento de 20% respecto al testigo (Figura 2). Esto se debió a que las giberelinas indujeron la expresión de los genes que codifican las proteínas y enzimas, las cuales participan en la movilización de reservas almacenadas durante el proceso de germinación (Lewak y Khan, 1977; Bewley y Black, 1994; Baskin y Baskin, 1998; Tigabu y Odén, 2001). Por otra par-

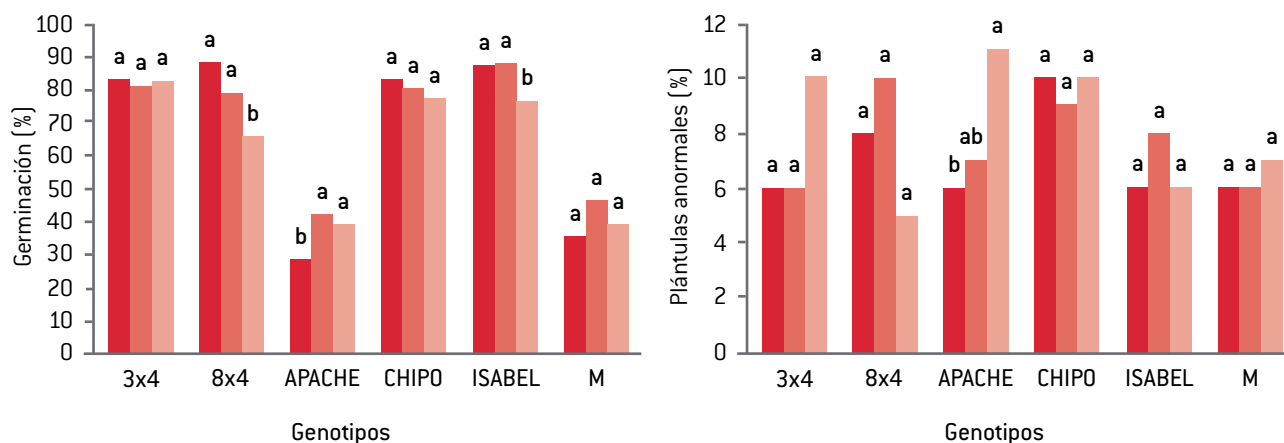


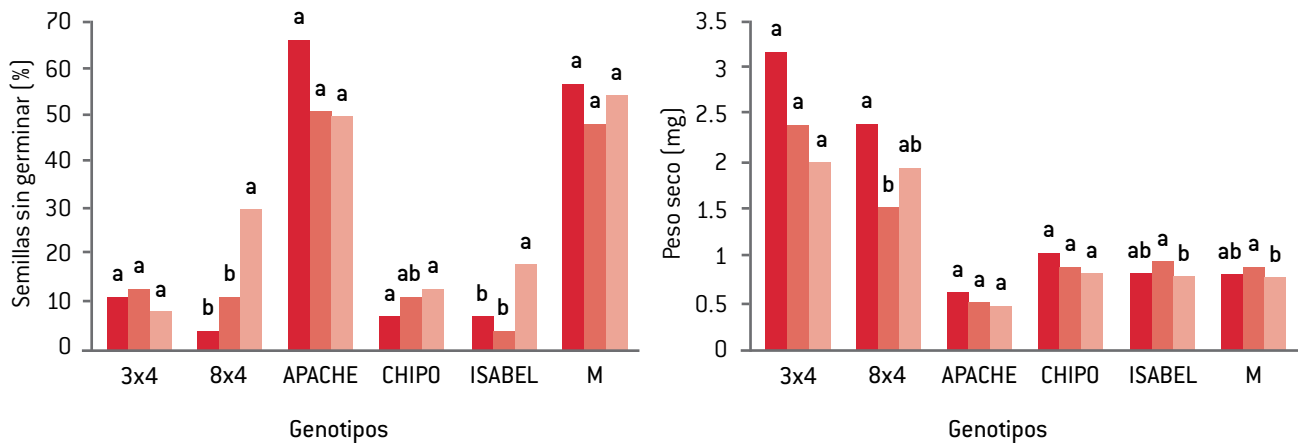
**Figura 1.** Peso de mil semillas en los genotipos evaluados. Promedios con letras diferentes son estadísticamente diferentes [Tukey, 0.05].

**Cuadro 2.** Comparación de medias para las variables de germinación y vigor, de semillas extraídas de los frutos cosechados.

	<b>G (%)</b>	<b>PA (%)</b>	<b>SSG (%)</b>	<b>PSP (mg)</b>	<b>LP (cm)</b>	<b>LR (cm)</b>
<b>Genotipos</b>						
Isabel	83.6 a	6.6 b	9.6 b	0.81 c	2.48 bc	7.79a
3x4	82.0 a	7.3 ab	10.6 b	0.87 c	2.79 b	5.83 bc
Chipo	80.0 a	9.6 a	10.3 b	1.93 b	2.40 cd	6.62 b
8x4	77.3 a	7.6 ab	15.0 b	2.51 a	3.17 a	5.63 c
Var. M	40.6 b	6.3 b	53.0 a	0.78 c	2.58 bc	3.64 d
Apache	36.3 b	8.0 ab	55.6 a	0.48 c	2.08 d	4.14 d
Media	66.6	7.6	25.7	1.23	2.58	5.61
Tukey (0.05)	6.68	2.71	5.70	0.49	0.35	0.86
<b>Tratamientos</b>						
KNO <sub>3</sub>	69.33 a	7.66 a	23.00b	1.15 b	2.38 b	6.37a
AG <sub>3</sub>	67.66 a	7.00 a	25.33 b	1.44 a	2.92 a	5.80 b
Testigo	63.00 b	8.16 a	28.83 a	1.09 b	2.45 b	4.66 c
Media	66.66	7.61	25.72	1.23	2.75	5.61
Tukey (0.05)	3.84	1.56	3.27	0.28	0.20	0.50

Valores promedio con letras distintas en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  
 G = germinación; PA = plántulas anormales; SSG = semilla sin germinar; PSP = peso seco de plántula;  
 LP = longitud de plúmula; LR = longitud de radícula.





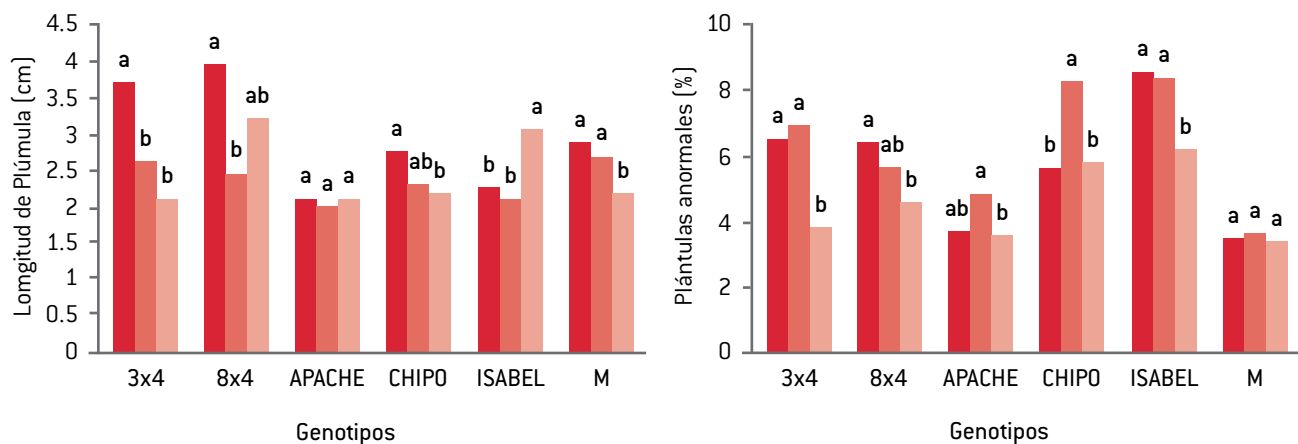
**Figura 2.** Evaluación de la calidad fisiológica de seis genotipos de Chile jalapeño con tres tratamientos pre-germinativos (■ Ácido Giberélico, ■ Nitrato de Potasio y ■ Testigo). Promedio con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

te, el  $KNO_3$  es un cofactor que promueve la síntesis o disponibilidad de receptores de luz roja lejano y/o giberelinas en la regulación de la latencia de las semillas (Bradford, 2004).

En la interacción genotipo por tratamiento, 8x4 incrementó el porcentaje de G con  $AG_3$ , en contraste, Apache e Isabel tuvieron mejor porcentaje de G con  $KNO_3$ . Para PA, Apache presentó mayor porcentaje con el testigo en comparación a  $AG_3$  y  $KNO_3$ . Para SSG, Apache registró el menor porcentaje, donde el  $AG_3$  tuvo el mayor. En cuanto a PSP, 8x4 presentó

mayor peso con el  $AG_3$ , mientras que Isabel y M lo tuvieron con el  $KNO_3$ .

En LP, el tratamiento que más influyó fue  $AG_3$  para 3x4, 8x4, Chipó y M; únicamente Isabel fue superada por el testigo. La LR se incrementó con  $AG_3$  y  $KNO_3$  en los genotipos 3x4, 8x4 e Isabel respecto al testigo; para Chipó y Apache, el  $KNO_3$  promovió mayor crecimiento en comparación al  $AG_3$  y testigo (Figura 3), resultados similares a los encontrados por Ruiz *et al.* (2008), quienes indicaron que el  $AG_3$  incrementó la longitud de plúmula en semillas de Chile ancho.



**Figura 3.** Evaluación de la longitud de plúmula y radícula en seis genotipos de Chile jalapeño con tres tratamientos pre-germinativos. (■ Ácido Giberélico, ■ Nitrato de Potasio y ■ Testigo). Promedios con letras diferentes en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

## CONCLUSIONES

Los genotipos experimentales 8x4 y 3x4 mostraron comportamientos de calidad de semillas superiores e iguales que Isabel, al tener mayor peso de semilla, longitud de plúmula y peso seco. El genotipo 8x4 se considera un híbrido experimental con potencial de mercado para la industria procesadora. El AG<sub>3</sub> y KNO<sub>3</sub>, en la dosis aplicada, favorece la germinación y el vigor de la semilla.

## LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, M. A., S. J. Martínez, J. E. Rodríguez P. y M. G. Peña O. 2011. Relación entre pruebas de calidad fisiológica de semillas de jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) con el establecimiento en almácigo. Rev. Chapingo Serie Hort. 17(2):57-62.
- AYALA, V. M., O. J. Ayala G., V. H. Aguilar R. y T. T. Corona. 2014. Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. Rev. Fitotec. Mex. 37(1):79-87.
- BASKIN, C. C. and J. M. Baskin. 1998. Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego. 666 p.
- BEWLEY, J. D. and M. Black. 1994. Seeds physiology of development and germination. 2nd edition. Plenum Press, NY. 445 p.
- BEWLEY, J. D. and M. Black. 2000. Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press Ltd. Sheffield, England. 419 p.
- BEWLEY, J. D., K. J. Bradford, W. M. Hilhorst H. and H. Nonogaki. 2013. Seeds: physiology of development, germination and dormancy. Third edition. 96 pp.
- BRADFORD, K. J. 2004. Seed production and quality. Department of vegetable crops. University of California. Davis, California, U.S.A. 134 pp.
- COPELAND, L. O. and M. B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. 4th ed. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts, USA. 467 pp.
- ESPINOSA, A., M. Sierra y N. Gómez. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. Agron. Mesoam. 14:117-121.
- GUTIÉRREZ, G., A. S., A. Carballo C., J. A., Mejía C., M. Vargas H., R. Trethowan y H. E. Villaseñor M. 2006. Caracterización de trigos harineros mediante parámetros de calidad física y fisiológica de la semilla. Rev. Agric. Téc. Méx. 32(1):45-55.
- GREGG, B. R. and G. L. Billups. 2010. Seed conditioning, technology, part A. Enfield, NH, USA: Science Publishers. 2:818-834.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2004. International rules for seed testing. Rules 2004. ISTA editions, Zurich, Switzerland. 243 p.
- KOORNNEEF, M., L. Bentsink and H. Hilhorst. 2002. Seed dormancy and germination. Current Opinion in Plant Biology. 5:33-36.
- LEWAK, S. and A. A. Khan. 1977. Mode of action of gibberellic acid and light on lettuce seed. Plant Physiology. 60:575-577.
- MORENO, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Tercera Ed. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 393 p.
- PABLO, C. E., J. A. Mejía, A. Carballo C., G. García G., V. H. Aguilar y T. Corona T. 2009. Calidad de semilla en colectas de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) de los Valles Centrales de Oaxaca, México. Agric. Téc. Méx. 35(3):257-266
- RUIZ, N. A., F. Rincón, B. Canales, R. H. Lira, R. Hernández y J. J. López. 2008. Efectos de tratamientos orgánicos pregerminativos en la germinación de semillas y vigor de plántulas de chile ancho. In: Ruiz, N. A. y R. H. Lira (eds). Tecnologías sustentables en semillas. Primera edición. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah., México. 156-170 pp.
- SAS. Statistical Analysis System Institute. 2002. SAS/SAT user guide version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, N.C.
- TIGABU, M. and P. C. Odén. 2001. Effect of scarification, gibberellic acid and temperature on seed germination of two multipurpose Albizia species from Ethiopia. Seed Science and Technology 29:11-20.
- WALL, A. D., R. Kochevar and R. Phillips. 2002. Chile seed quality. New México Chile Task Force. Report 4. New Mexico State University and US Department of Agriculture. 6 pp.
- ZEPEDA, B. R., A. Carballo C., G. G. Alcántar, L. A. Hernández y J. A. Hernández G. 2002. Efecto de la fertilización foliar en el rendimiento y calidad de semilla de cruas simples en maíz. Rev. Fitotec. Mex. 25(4):419-426.

# Aptitud combinatoria y heterosis en cruzas experimentales de sorgo para grano

## Combining ability and heterosis in grain sorghum experimental crosses

Nury Deyanira Gutiérrez-Palacios<sup>1</sup>, José Espinoza-Velázquez<sup>\*2</sup>,  
Armando Rodríguez-García<sup>3</sup>, Luis Ángel Muñoz-Romero<sup>3</sup>, Alfonso López-Benítez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Egresada del programa de maestría en Ciencias en Fitomejoramiento, <sup>2</sup>Instituto Mexicano del Maíz Email: jespvel839@gmail.com (\*Autor responsable), <sup>3</sup>Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP 25315. Tel.: (844) 411 0221..

### RESUMEN

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

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

### ABSTRACT

Mexico is among the main worldwide sorghum grain producers, and one of the bigger importers for a period of 32 years ending up to 2012. In those changing situations, it is worth to count on foundation germplasm from where we can develop complementary inbred lines and then produce competitive hybrids that help in reducing the grain imports. In this research work, combining abilities estimates and heterosis percentages for yield (RTO) and other agronomic variables were derived for inbred lines and crosses. During 2013, 7x7 line crosses following the North Carolina II design were accomplished. The yield performance assays were developed during S-S / 2014 in locations Rio Bravo, Tamaulipas, and Buenavista, Saltillo, Mexico, including parental lines, crosses and witnesses. The experimental design was a complete randomized block design using three replicates. The genetic analysis leads to estimate the GCA and SCA. The male parental lines M7 (0.54 t ha<sup>-1</sup>) and M4 (0.52 t ha<sup>-1</sup>) and the females H1 (0.29 t ha<sup>-1</sup>) and H2 (0.25 t ha<sup>-1</sup>) had the higher GCA effects and the highest RTO, grain panicle number (NGP), and 1000 grain weight (PMG). The NGP favored high RTO in these male parents, and PMG did so in the female parents. The crosses that showed high and positive SCA effects for RTO and its components were (A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37 and A68 x 124-2) which also showed high heterosis (117.07, 147.79, 93.53, 97.93 and 117.54 %) and were superior in RTO. These results validated that knowledge about the additive action genes and dominant effects are reliable to produce good hybrids and select the best to possible commercial applications.

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

## INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

La estimación de parámetros genéticos se puede lograr con diseños de apareamientos genéticos, tales como los diseños dialélicos y el diseño II de Carolina del Norte (Sprague y Tatum, 1942; Comstock *et al.*, 1949). En este último se utilizan dos conjuntos de líneas: el primero funciona como macho, el segundo como hembra. Este diseño se ha utilizado por un grupo numeroso de investigadores, entre ellos Wong *et al.* (2007), Tadesse *et al.* (2008), Makanda *et al.*

(2010), Guerrero-Guerrero *et al.* (2011), Palemón *et al.* (2012) y Luna-Ortega *et al.* (2013).

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

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

Para obtener híbridos de sorgo se requieren dos conjuntos de líneas: uno de hembras con androesterilidad, y otro de machos androfértiles, capaces de restaurar la producción de polen en la progenie resultante. Esto es de suma importancia, dada la especial estructura de los órganos reproductivos de la especie. En este contexto, el presente estudio se enfocó en la evaluación de aptitud combinatoria y heterosis en cruza experimental de sorgo para grano, de probable utilización en siembras comerciales en México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

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

Los ensayos de rendimiento se realizaron en dos localidades: Campo Experimental del INIFAP

en Río Bravo, Tamaulipas (25° 59' N y 98° 06' O. 139 msnm, temperatura media anual de 23.5° C, y 780 mm de precipitación anual, clima muy cálido) ([www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)), y en Buenavista, Saltillo, Coahuila (25° 22' N y 101° 02' O, 1742 msnm, temperatura media anual de 19.8° C y de 350-400 mm de precipitación anual, clima semicálido) (<http://www.uaaan.mx>).

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

El análisis de varianza (ANVA) se realizó con el paquete estadístico SAS, 2001. La comparación de medias fue con Tukey ( $p < 0.05$ ).

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

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

Donde:  $i = 1, 2, \dots, m$  (machos)

$j = 1, 2, \dots, h$  (hembras)

$k = 1, 2, \dots, r$  (repeticiones)

$Y_{ijk}$  = observación de la cruce entre el  $i$ -ésimo macho, la  $j$ -ésima hembra, en la  $k$ -ésima repetición

$\mu$  = Media general

$M_i$  y  $H_j$  = Efecto del  $i$ -ésimo macho y  $j$ -ésima hembra

$\Phi_{ij}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo macho y la  $j$ -ésima hembra

$E_{ijk}$  = Error experimental

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

Tatum, 1942), donde:

$$g_i = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..} \quad g_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..} \quad S_{ij} = Y_{ij} - g_i - g_j - \bar{Y}_{..}$$

Para heterosis, se usó la fórmula:

$$H = (MF_1 - MP / MP) \times 100;$$

donde:

$MF_1$  = valor promedio del carácter evaluado en el híbrido

$MP$  = valor del promedio de progenitores

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

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

En el caso de progenitores H, parece ser que el PMG contribuye a incrementar el RTO, ya que H2, H1 y H4, que sobresalen en RTO, también sobresalen con mayor PMG. Estos resultados coinciden a lo reportado por Wong *et al.* (2007) en cruces de maíz, en las que la expresión del alto RTO la aportó el M con el mayor número de granos por mazorca (equivalente a NGP), y por la H con el mayor peso de mil granos (equivalente a PMG).

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

Respecto a la variable AP, el macho M7 presentó AP desfavorable para realizar cosecha mecanizada (221.2 cm). En el Cuadro 1 se observa que los progenitores M y H expresaron un comportamiento diferencial en la mayoría de las variables, tal vez como resultado de la divergencia genética entre el material, además de las diferencias en ambientes de producción entre las localidades de estudio (Gómez *et al.*, 1988).

El rendimiento promedio de grano que se obtuvo en las localidades (2.81 t ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 2), fue superior al encontrado en otras evaluaciones de sorgo para grano (Makanda *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2011); e inferior (Geremew *et al.*, 2004; De Almeida *et al.*, 2013).

En los análisis por localidad, la de Río Bravo tuvo un RTO de 3.61 t ha<sup>-1</sup>, mientras que el de Buenavista fue de 1.97 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 2). El bajo RTO de la segunda localidad se atribuye a condiciones desfavorables de temperaturas que afectaron el desempeño de los genotipos. Las cinco cruzas más rendidoras en el combinado: A92 x 124-2; A98 x Pan 37; A98 x 124-2; A92 x Pan 37; y A96 x 124-2, tuvieron buen desempeño en ambas localidades, lo que indica consistencia en las cruzas, excepto en la segunda.

En el análisis combinado, diez cruzas superaron al mejor testigo (83 G19 de la compañía Pioneer Hi-Breed) en un rango de 26 a 3%. El mayor potencial de RTO lo obtuvo A92 x 124-2, sin diferencias estadísticas con A98 x Pan 37 y A98 x 124-2 (Cuadro 2). Las

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

Código	Línea	RTO (t ha <sup>-1</sup> )	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)
M1	14 – 3	3.12 ab	1939.9 bc	23.1 cd	86.69 a	123.81 ab
M2	12 A	2.63 bc	1335.6 d	24.5 bc	87.36 ab	130.40 b
M3	106-2	2.49 c	1761.2 c	21.9 d	90.12 c	130.35 b
M4	124-2	3.53 a	2160.4 ab	26.2 b	86.33 a	148.44 c
M5	IA 28	3.16 ab	2129.3 b	22.5 d	87.07 a	122.49 a
M6	21-1	2.54 c	1641.1 cd	23.3 cd	89.02 bc	119.22 a
M7	Pan 37	3.60 a	2447.6 a	30.1 a	89.36 c	221.19 d
H1	B 92	3.26 a	1791.5 b	28.1 a	87.78 abc	138.51 a
H2	B 98	3.30 a	1944.4 ab	25.8 bc	86.07 a	146.46 cd
H3	B 96	2.99 ab	1827.4 b	24.1 cd	86.86 ab	141.90 abc
H4	B 16	3.06 ab	1708.8 b	26.1 b	86.21 a	139.19 ab
H5	B 68	2.94 ab	2187.4 a	22.6 d	88.98 c	147.32 d
H6	B 626	2.88 ab	1771.3 b	22.3 d	88.50 bc	140.76 abc
H7	B 625	2.63 b	2184.3 a	22.5 d	91.55 c	141.79 abc
<b>DMS</b>		<b>0.54</b>	<b>312.6</b>	<b>1.78</b>	<b>1.78</b>	<b>7.5</b>
<b>0.05</b>						

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

tres cruzas mencionadas superaron en 26, 19 y 14% al testigo de Pioneer, respectivamente. De estos resultados se infiere que podrían seleccionarse cruzas que por sus características agronómicas deseables, puedan utilizarse en siembras comerciales.

Respecto a ACG, se observaron efectos significativos para NGP (M), PMG (M y H), DF (H) y AP (M) (Cuadro 3), lo que sugiere la importancia de genes con acción aditiva para mejorar estas características a través de la selección, de acuerdo con resultados de reportes previos (Kenga *et al.*, 2004; Tadesse *et al.*, 2008; Makanda *et al.*, 2010).

Para RTO no se observó ACG significativa, pero sí positiva para la mayoría de los M y para algunas de las H, lo que indica la poca importancia de genes con

efecto aditivo, y sugiere que una respuesta heterótica por hibridación puede ser importante (Peña-Ramos *et al.*, 2004).

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

Los resultados reflejan el verdadero valor genotípico de las líneas mencionadas, al ser estimados como efectos medios de una línea en una serie de cruzas, lo que muestra que, entre más alta sea la ACG de una línea, mayor es el desempeño pro-

**Cuadro 2.** Promedio de rendimiento [t ha<sup>-1</sup>] de cruzas sobresalientes por localidad y a través de localidades. Diseño II de Carolina del Norte. Río Bravo, Tamaulipas, y Buenavista, Coahuila. 2014.

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

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

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

En el Cuadro 4 se muestran las mejores doce cruzas con efectos de ACE altos y positivos para RTO, de entre las que destacan A92 x 124-2 con RTO más alto (4.45 t ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 2), donde ambos progenitores

tienen valores positivos de ACG, condición que por sí misma asegura alto RTO (Wong *et al.*, 2007; Guerrero-Guerrero *et al.*, 2011). También sobresalieron en ACE A98 x Pan 37 y A16 x Pan 37, ya que ocupan el segundo y cuarto lugar en RTO (Cuadro 2). Los padres de estas cruzas también poseen efecto positivo de ACG, lo cual sugiere combinaciones deseables.

En los tratamientos se presentaron casos donde uno de los progenitores mostró ACG negativa; sin embargo, sus cruzas reflejaron ACE positiva y alto RTO: A92 x 12 A, A96 x 124-2, A68 x 124-2 y A626 x Pan 37 (Cuadros 4 y 2). En resumen, cuando en cruzas específicas participan progenitores en los que al menos uno es ACG positiva, se pueden generar combinaciones exitosas; resultados semejantes encontraron Wong *et al.* (2007) y Guerrero-Guerrero *et al.* (2011); o casos donde los progenitores discrepan respecto a la

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

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

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

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

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

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

magnitud, pero combinan de tal manera, que generan híbridos con alta ACE, similar a lo reportado por Pech *et al.* (2010) en materiales del género *Capsicum*. En coincidencia con Guerrero *et al.* (2012), las líneas que aparecieron con más frecuencia en los híbridos sobresalientes y en sus respectivas cruzas específicas, obtuvieron los valores más altos de ACG.

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

Según se observa en el Cuadro 5, existen diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) para localidades en todas las variables, a excepción de NGP, lo que indica contrastes entre localidades en cuanto a condi-

ciones ambientales. La varianza de  $M (M_{ACG})$  y la de  $H (H_{ACG})$  presentaron diferencias estadísticas para todas las variables ( $p \leq 0.01$ ), lo cual indica que los efectos aditivos tuvieron gran impacto sobre todas ellas, que coincide con los resultados de Tadesse *et al.* (2008). La interacción  $M \times H$  (ACE) impactó significativamente a las variables ( $p < 0.01$ ), con excepción de RTO y NGP, que son determinantes en la valoración económica de nuevos híbridos. En este caso, debe tomarse en cuenta el gran contraste existente entre las localidades, como el ambiente de producción para sorgo, ya que probablemente esta característica enmascaró tal impacto. De cualquier manera, para la mayoría de las variables, los efectos de aptitud combinatoria encontrados sugieren la posibilidad de seleccionar progenitores superiores para aprovecharlos como patrón heterótico, porque probablemente combinen bien con otros genotipos y generen progenies competitivas, como indica Hallauer (1990). Dadas las diferencias entre los progenitores, también se pueden obtener cruzas que se adapten,

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

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

\*, \*\* Significativo al 5 y 1 % ( $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ ), respectivamente. gl = Grados de libertad; RTO = Rendimiento de grano en t ha<sup>-1</sup>. NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50% de floración; AP = Altura de planta en cm.

y expresen su máximo potencial de rendimiento en ambientes contrastantes.

La interacción M x Loc con diferencias altamente significativas para todas las variables ( $p \leq 0.01$ ), indica que los M respondieron de manera diferente ante los cambios de ambiente, a excepción de AP. En el caso de la interacción H x Loc, solamente reveló significancia estadística ( $p \leq 0.01$ ) para RTO y PMG. La alta variabilidad de los progenitores M para las diferentes características puede deberse a que fueron desarrollados a partir de una base genética relativamente amplia (Tadesse *et al.*, 2008).

En relación con la interacción M x H x Loc, hubo diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables medidas, a excepción de AP (Cuadro 5). En general, los resultados demuestran diferencias en cuanto a efectos genéticos aditivos para los casos donde H y M reflejaron diferencias significativas, lo cual coincide con Tadesse *et al.* (2008), y efectos de dominancia importantes para los casos donde la interacción M x H fueron significativas. Estos resulta-

dos coinciden con reportes previos de Luna-Ortega *et al.* (2013).

Respecto a la heterosis, las 11 cruzas que superaron el 80% para RTO, se presentan en el Cuadro 6. De éstas, sólo A68 x Pan 37 y A625 x Pan 37, con heterosis de 91.1 y 80%, no se ubicaron dentro de las diez cruzas superiores en RTO (Cuadros 2 y 6). El resto de cruzas, además de alta heterosis, también mostraron ser las más rendidoras. De las cruzas más calificadas: A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37 y A68 x 124-2, destacaron también por presentar ACE positiva (Cuadro 4). Los valores de mayor amplitud de heterosis encontrados se atribuyen a la mayor diversidad de las líneas que participaron en las cruzas, datos que son similares a los reportados por Cisneros-López *et al.* (2007) y León-Velasco *et al.* (2009).

La heterosis de NGP contribuyó más a la heterosis del RTO, ya que la de PMG fue de menor magnitud (Cuadro 6), lo que coincide con Peña-Ramos *et al.* (2004). Los resultados señalan niveles de heterosis relativamente superiores en NGP, pero similares en

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

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

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

cuanto a PMG a los reportados por León-Velasco *et al.* (2009). DF y AP registraron niveles de heterosis importantes para obtener genotipos precoces y altura adecuada (Cuadro 6).

## CONCLUSIONES

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

Se identificaron diez cruzas de alto rendimiento de grano, de entre las que destacan: A92 x 124-2 y A98 x Pan 37, que superaron en 26 y 19% al mejor testigo comercial. El análisis genético general combinado permitió encontrar progenitores superiores

que generaron buenas combinaciones híbridas, así como identificar cruzas específicas rendidoras, con características agronómicas deseables en ambientes contrastantes.

## AGRADECIMIENTOS

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

## LITERATURA CITADA

BELUM, V., S. Reddy, S. Ramesh, P. Sanjana Reddy, B. Ramaiah (2007). Combining ability and heterosis as

- influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Euphytica*. 154:153-164.
- BORRÁS, L., M. E. Otegui (2001). Maize kernel weight response to post flowering source-sink ratio. *Crop Science*. 49:1816-1822.
- CISNEROS-LÓPEZ, M. E., L. E. Mendoza-Onofre, G. Mora-Aguilera, L. Córdova-Téllez, M. Livera-Muñoz (2007). Cold tolerant sorghum hybrids and parental lines. I: Seed quality and its effects on seedling establishment. *Agrociencia* 41: 45-55.
- COMSTOCK, R. E., H. F. Robinson, P. H. Harvey (1949). A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Journal American Society of Agronomy*. 41: 360-367.
- DE ALMEIDA F J, F D Tardin, M D Vilela, F F e Silva, I S Correia, C B de Menezes (2013) Genetic evaluation of grain sorghum hybrids in Brazilian environments using the REML/BLUP procedure. *Scientia Agrícola V* 71(2):46-150.
- FIDEICOMISOS Instituidos en Relación con la Agricultura, Banco de México. FIRA (2016). Panorama Agroalimentario, Sorgo 2016. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Morelia, Mich., México. Publicación especial. 34 pp.
- GEREMEW G., A. Asfaw, T. Taye, T. Tesfaye, B. Ketema, H. Hilemichael (2004). Development of sorghum varieties and hybrids for dryland areas of Ethiopia. *Uganda Journal of Agricultural Science* 9:594-605.
- GÓMEZ, M. N., R. Valdivia, H. Mejía (1988). Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 11(2) 103-120.
- GUERRERO, G. C., A. Espinoza, A. Palomo, E. Gutiérrez, J. G. Luna, N. Rodríguez (2012). Comportamiento genético y aptitud combinatoria en cruza simples con líneas elite de maíz. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo*. 28(1): 65-77.
- GUERRERO-GUERRERO, C., A. Espinoza-Banda, A. Palomo-Gil, E. Gutiérrez-del Río, H. Zermeño-González, M. P. González-Castillo (2011). Aptitud combinatoria del rendimiento y sus componentes en dos grupos de líneas de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 22(2): 257-267.
- HALLAUER, A. R. (1990). Methods used in developing maize inbreds. *Maydica* 35(1): 1-16.
- HERNÁNDEZ, L. A., T. M. Gallegos, J. E. Reyes, A. L. Meza (2011). PERLA-101: nueva variedad de sorgo para grano en el estado de Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol. 2, Núm. (5): 779-784.
- KENGA, R., S. O. Alabi, S. C. Gupta (2004). Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Field Crops Research* 88: 251-260.
- KUMAR, A., A. Belum, V.S. Reddy, B. Ramaiah, R. Sharma (2011). Heterosis in white-grained grain mold resistant sorghum hybrids. *Journal of SAT Agricultural Research* 9. 6 pp.
- LEÓN-VELASCO, H., L. E. Mendoza, F. Castillo, T. Cervantes, A. Martínez (2009). Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: aptitud combinatoria, heterosis y heterobelitosis. *Agrociencia* 43 (6): 609-623.
- LUNA-ORTEGA, J. G., J. L. García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, M. A. Gallegos-Robles, P. Preciado-Rangel, C. Guerrero-Guerrero, A. Espinoza-Banda (2013). Aptitud combinatoria y componentes genéticos en líneas de maíz. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 9(3): 243-253.
- MAKANDA, I., P. Tongoona, J. Derera, J. Sibiyi, P. Fato (2010). Combining ability and cultivar superiority of sorghum germplasm for grain yield across tropical low- and mid-altitude environments. *Field Crops Research* 116 (2010) 75-85.
- OROZCO, M. F. J., L. E. Mendoza (1983). Comparación de híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] y algunos de sus progenitores. *Agrociencia* 53: 87-98.
- OSUNA, O. J., L. E. Mendoza, F. Castillo, V. A. González, M. C. Mendoza, H. W. Alanís, M. Hernández (2001). Potential of cold tolerant germplasm in the adaptation and adaptability of grain sorghum in México: II. Río Bravo, Tamaulipas; and Celaya, Guanajuato. *Agrociencia* 35: 625-636.
- PALEMÓN, A. F., N. O. Gómez, F. Castillo, P. Ramírez, J. D. Molina, S. Miranda (2012). Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (1): 157-171.
- PECH MAY, A., G. C. Nájera, J. M. Tun, M. M. Elos, J. O. Mijangos, A. P. Gutiérrez, L. L. Moreno (2010). Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 33 (4): 353-360.
- PEÑA-RAMOS, A., S. D. Kachman, J. D. Eastin, D. J. Andrews (2004). Herencia del rendimiento, número y tamaño del grano en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27: 149-156.
- POEHLMAN, J. M. (2005). Mejoramiento genético de las cosechas. 2ª. ed. Limusa, México. 511 pp.
- REDDY, B. V. S., A. A. Kumar, S. Ramesh, S. P. Reddy (2011). Breeding sorghum for coping with climate change. Pages 326-329 in *Crop adaptation to climate change* (Yadav SS, Redden B, Hatfield JL and Herman Lotze-Campen, eds.). Iowa, USA: John Wiley & Sons Inc.

- SAS (Statistical Analysis System) (2001). Version 8.2. By SAS Institute Inc, Cary, NC, USA. Copyright 2001.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2013). Estadísticas de producción agrícola en México. Sorgo de grano. [www.siap.mx](http://www.siap.mx).
- SPRAGUE, G. F. & L. A. Tatum (1942). General vs specific combining ability in single crosses of corn. Journal American Society of Agronomy. 34:923-932.
- TADESSE, T., T. Tesso, G. Ejeta (2008). Combining ability of introduced sorghum parental lines for major morpho-agronomic traits. Journal of SAT Agricultural Research 6. 7 p.
- WONG, R. R., E. Gutiérrez del Río, A. G. Palomo, S. H. Rodríguez, H. O. Córdoba, A. B. Espinoza, J. J. Lozano (2007). Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 30 (2): 181-189.
- ZEWDie, Y., P. W. Bosland, R. Steiner (2000). Combining ability and heterosis for capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. HortScience 36:1315-1317.
- [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)  
<http://www.uaaan.mx>



# Potencial de producción de inflorescencias en híbridos apomícticos de zacate buffel

## Inflorescence potential production in Buffelgrass apomict hybrids



Susana Gómez-Martínez<sup>\*1</sup>, Jorge Raúl González-Domínguez<sup>1</sup>,  
Juan Manuel Martínez-Reyna<sup>1</sup>, Daniel Aldaco-Gómez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento,  
<sup>2</sup>Tesista de la Carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP 25315.  
Tel.: (844) 411 0296. Email: sgomart@gmail.com (\*Autor Responsable).

### RESUMEN

El zacate buffel es la especie forrajera más importante para la ganadería extensiva del norte de México. Para las nuevas variedades forrajeras es indispensable un buen potencial de producción de semillas, y el número de inflorescencias por planta es el componente principal para su producción. El objetivo de esta investigación fue determinar el potencial de producción de panículas de híbridos apomícticos de zacate buffel, para lo cual se evaluaron siete genotipos, y la variedad T-4464 o Común, como testigo. Las plántulas se obtuvieron en un invernadero, y luego se transplantaron a macetas de plástico negras. Se utilizó un diseño experimental de cuadrado latino 8x8. El número de panículas se determinó en tres ocasiones. En las tres fechas de evaluación, los análisis de varianza detectaron diferencias altamente significativas entre genotipos para el número de inflorescencias. Los resultados indican que existe gran variabilidad genética entre genotipos a seleccionar para producir semilla.

**Palabras clave:** *Pennisetum ciliare*, panículas, semilla

### ABSTRACT

Buffelgrass is the most important forage species for rangelands in Northern Mexico. A good seed production potential is necessary for the new forage varieties. The number of inflorescences per plant is the main component of seed production. The objective of the study was to determine the production potential of panicles of buffelgrass apomict hybrids. In this investigation, seven genotypes and the Common variety, as a test, were evaluated. Seedlings were obtained in greenhouse conditions, and later they were transplanted to plastic pots. A latin square 8 x 8 experimental design was used. The number of panicles was determined three times. The analysis of variance detected highly significant differences among genotypes for number of inflorescences in all three evaluations. The results indicated that there is a great genetic variability among genotypes to select for seed production.

**Key words:** *Pennisetum ciliare*, panicles, seed

## INTRODUCCIÓN

La ganadería extensiva en México es una actividad que depende de los forrajes nativos o introducidos en los agostaderos, cuya problemática se agudiza cuando se quedan sin manejo agronómico o ganadero, lo que provoca áreas con poca vegetación o marginales que se deterioran por la erosión: eólica, hídrica, genética, etc. Para mejorar la productividad de los agostaderos se requieren plantas forrajeras nativas y/o introducidas, adaptadas al semidesierto. Géneros de gramíneas tropicales con un alto valor forrajero evolucionaron en África debido a los diferentes tipos de selección: gran diversidad de rumiantes, hábitos de pastoreo, densidades de poblaciones, sequías, fertilidad de suelo, entre otros.

El zacate buffel es una de las especies nativas de África más importantes, que se aprovecha en praderas con varios propósitos: para alimentar el ganado, rehabilitar terrenos erosionados y praderas desgastadas, además de estabilizar áreas desmontadas y barrancosas. Esta especie se considera la forrajera más importante para la ganadería extensiva del norte de México, debido a las siguientes características agronómicas: facilidad de establecimiento, persistencia, tolerancia a las sequías, alta producción de forraje y valor nutritivo para el ganado, además de ser una excelente alternativa para rehabilitación de agostaderos degradados. Sin embargo, al ser una especie introducida, su variabilidad genética es reducida, ya que desde hace más de 60 años, aproximadamente, se liberó la primera variedad llamada T-4464 o Común, que contiene una uniformidad genética muy importante, que la hace vulnerable a factores bióticos y abióticos (Gómez, 2009). Otro factor sobresaliente, responsable de la uniformidad genética de la especie, es su modo de reproducción apomíctico, debido a la cual la fertilización del huevo no es necesaria para producir un embrión, sino que éste es resultado de una embriogénesis asexual que se desarrolla en una planta como un clon materno (Hand y Koltunow, 2014). En la actualidad, para ampliar su base genética, es necesario generar nuevos genotipos de este zacate, con el propósito de mejorar sus características favorables, tales como: producción de forraje, producción de semilla, tolerancia a factores abióticos y su capacidad de captación de CO<sub>2</sub>.

El Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), a través de su programa de pastos, ha incrementado la variabilidad genética del zacate buffel a través de cru-

zamientos entre el clon sexual TAM CRD B-1 (progenitor hembra) y genotipos apomícticos, utilizados como progenitores macho. Para llevar a cabo este proyecto, ha sido requisito indispensable que las nuevas variedades forrajeras posean un buen potencial de producción de semillas, ya que para las compañías semilleras el costo de producción será menor, y, por tanto, más accesible para los ganaderos. Por tal motivo, al momento de la selección, fue importante considerar el número de inflorescencias por planta, ya que es el componente principal de la producción de semillas (involucros o carióspsides). El objetivo de este trabajo fue investigar el potencial para producir panículas de los híbridos apomícticos F<sub>1</sub> de zacate buffel, generados por el Programa de Pastos de la UAAAN.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó con siete híbridos apomícticos de zacate buffel y la variedad comercial Común como testigo. Los híbridos fueron generados y desarrollados por el Programa de Pastos del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Las hibridaciones se realizaron en los invernaderos en 2006: como progenitor hembra, el clon sexual TAM CRD B-1s, y como progenitor macho la variedad Zaragoza-115. Se evaluaron 6,000 híbridos en campo y se seleccionaron 500 híbridos F<sub>1</sub> por características agronómicas deseables. Mediante pruebas de progenie se determinó la naturaleza apomíctica de los híbridos (Gómez, 2009). Se seleccionaron y se evaluaron 72 familias F<sub>2</sub> en Zaragoza, Coahuila, de las que se seleccionaron 26 familias F<sub>3</sub>, con base en su producción de forraje, semilla y características de importancia económica. Evaluaciones posteriores permitieron seleccionar los siete híbridos que se evaluaron en este estudio (Morales, 2013).

La investigación se inició en la UAAAN, Saltillo, Coahuila, el 22 de junio de 2015, con la siembra de carióspsides en cajas de nieve seca de 200 cavidades, y el 22 de agosto de 2015, cuando las plantas alcanzaron una altura de 12 cm, se transplantaron en macetas negras con tres litros de *peat moss* como sustrato, y un litro de grava para darles mayor estabilidad a las plantas y facilitar el drenaje. Durante el desarrollo del experimento se les proporcionó la atención de riegos y de fertilizaciones (20-30-10), a una dosis de 2gr/litro de agua.

Se utilizó un diseño experimental de cuadrado latino 8x8, y se consideró una maceta y ocho repeticiones 8x8 como una unidad experimental, por lo que

fueron un total de 64 macetas. Las macetas se establecieron a una distancia aproximada de 40 cm entre hileras y columnas. Éstas se cambiaron de posición de manera continua para evitar el enraizamiento en el suelo y la presencia de lombriz.

El número de inflorescencias (panículas) se determinó en tres ocasiones, directamente en las unidades experimentales: 18 de octubre, 27 de octubre y 5 de diciembre de 2015. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para comparación de medias con el programa estadístico Statistical Analysis System, versión 9.0 (SAS, 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tres fechas de evaluación del número de inflorescencias por planta, los análisis de varianza detectaron diferencias altamente significativas entre genotipos. En el Cuadro 1 se observa la dinámica del número de inflorescencias por planta, de los ocho genotipos, en las tres fechas de evaluación: 18 y 27 de octubre y 5 de diciembre de 2015. En la primera evaluación, Común fue el mayor productor (39 panículas por planta) seguido de G-6, G-2 y G-11 con 38, 34 y 30, respectivamente, lo que muestra que no hubo diferencia significativa entre los cuatro genotipos. El último lugar lo obtuvo G-22 (15), que fue estadísticamente igual al G-17, con 17 inflorescencias.

Los genotipos siguieron el mismo orden en la segunda evaluación, pero con incremento respecto a la primera para: Común, G-6, G-2 y G-11, que fue de 156.4, 126.3, 102.9 y 126.6% respectivamente. Los valores más bajos los obtuvieron los genotipos G-20, G-17 y G-22 con 56, 45 y 45 inflorescencias por planta, respectivamente. En la tercera evaluación, el G-6 obtuvo el número más alto (254) de panículas por planta, y fue estadísticamente diferente al resto de los materiales, seguido de Común con 211. El último grupo estuvo formado por los genotipos G-2 y G-17, que fueron iguales estadísticamente entre sí y obtuvieron 140 y 119 inflorescencias por planta. El rango entre el valor mínimo y máximo fue de 135 inflorescencias, lo que permite observar la amplia variabilidad genética entre los híbridos.

Para la primera evaluación, el valor promedio de los híbridos fue de 27 inflorescencias por planta, superado por Común en un 48.85%. En la segunda fecha, Común superó en 60.20% al promedio de los híbridos que obtuvieron 62.42 inflorescencias. En la tercera lectura Común superó el promedio de los hí-

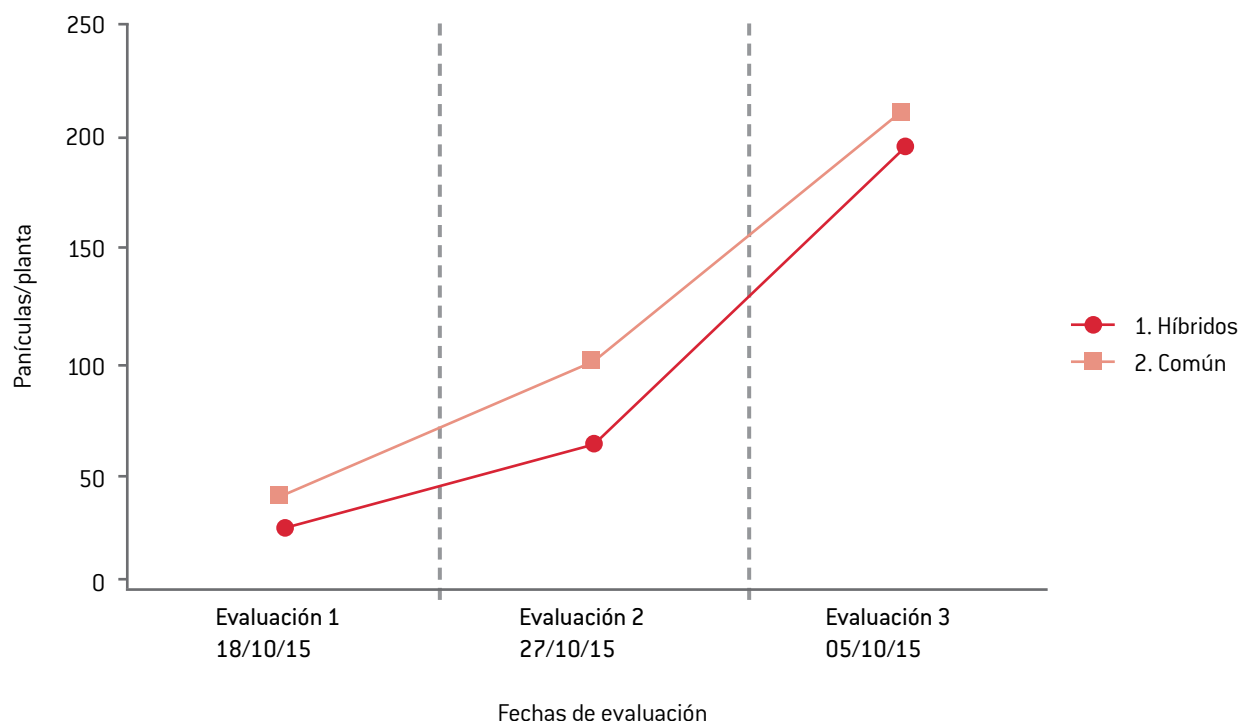
**Cuadro 1.** Comparación de medias de número de inflorescencias por planta de ocho genotipos de zacate buffel en tres fechas de evaluación. Saltillo, Coahuila. 2015.

Genotipo	Inflorescencias por planta (No.)		
	Primera evaluación 18/10/15	Segunda evaluación 27/10/15	Tercera evaluación 05/12/15
Común	39	100 A	211 B
G-6	38	87 A	254 A
G-2	34	69 B	140 CD
G-11	30	68 B	151 C
G-12	29	67 B	163 C
G-20	26	56 BC	157 C
G-17	17	45 C	119 D
G-22	15	45 C	149 C

† Letras diferentes en la columna son estadísticamente diferentes DMS ( $< 0.05$ ).

bridos (192 inflorescencias) con solamente un 9.72%. El número de inflorescencias por planta se incrementó en cada fecha de evaluación de acuerdo al desarrollo de la planta. Entre la primera y segunda lectura hay una diferencia de nueve días, y Común obtuvo durante este periodo un incremento en la producción de inflorescencias de 154.82% y los híbridos de 130.74%. En la tercera evaluación, cuando la planta estaba completamente en la etapa reproductiva (el dato se tomó el 5 de diciembre, 38 días después de la segunda lectura), tuvo un incremento de 110.0% y los híbridos de 208.5%, por lo que, durante este lapso, se observa un mayor incremento de inflorescencias en los híbridos que en la variedad Común (Figura 1).

Hernández (2016), en un estudio realizado con nueve genotipos de zacate buffel incluyendo la variedad Común, bajo las mismas condiciones ambientales de esta investigación, reporta 164 panículas por planta para Común y un valor promedio de 86.91 para ocho híbridos apomícticos. Los resultados en esta investigación superaron a los reportados por Hernández (2016) con 28.65% para Común y a los híbridos con un 120.9%. Entre ambas investigaciones, las diferencias para Común fueron mínimas,



**Figura 1.** Número de panículas promedio de híbridos apomícticos y la variedad común de zacate buffel en tres fechas de evaluación. Saltillo, Coahuila, 2015.

debido a la naturaleza apomíctica de la especie. Sin embargo, las diferencias en el promedio de los híbridos entre ambos experimentos fueron de 105 panículas por planta, lo cual coincide con Bashaw (1975), quien reporta que los apomícticos son altamente heterocigotos y liberan una gran variabilidad cuando se rompe la barrera de la apomixis.

## CONCLUSIÓN

La variabilidad genética estudiada en esta investigación indica la posibilidad de seleccionar líneas para desarrollar variedades altamente productoras de semilla.

## LITERATURA CITADA

BASHAW, E.C. 1975. Problems and possibilities of apomixis in the improvement of tropical forage grasses. In: E.C. Doll and G.O. Mott (eds.). Tropical Forages in Livestock Production Systems. Am. Soc. Agron. Special Pub No. 24. pp: 23-30.

GÓMEZ-MARTÍNEZ, S. 2009. Desarrollo de híbridos simples de reproducción sexual y determinación de su compatibilidad en cruza con variedades apomícticas de zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.). Tesis Doctorado. Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 142 p.

HAND, M.L. and A.M. Koltunow. 2014. The genetic control of apomixis: asexual seed formation. Review Genetic, 197:441-450.

HERNÁNDEZ-VELASCO, A.J. 2016. La propiedad intelectual de nuevas variedades de *Pennisetum ciliare* L. con base en la caracterización morfológica. Tesis Licenciatura. Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 54 p.

MORALES-TÉLLEZ, L. 2013. Caracterización de genotipos apomícticos de zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.) derivados por cruzamiento de hembra sexual por macho apomíctico. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista Saltillo, Coah. 92 p.

STATISTICAL APPLIED SYSTEM. SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT 9.4 User's Guide Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.

# PUBLICACIONES 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



- 85** El aprovechamiento del orégano en las comunidades rurales del sureste de Coahuila  
The use of the orégano in the rural communities of the southeast of Coahuila  
*Carmen Leticia Ayala-López*
- 91** Programación de riego con un índice térmico y su efecto sobre el crecimiento y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.)  
Programming of irrigation using a thermal index and its effect on the growth and performance of the corn  
*Raúl Rodríguez-García, José Antonio Morales-de la Cruz, Diana Jasso-de Rodríguez, José Ángel Villarreal-Quintanilla y Homero Ramírez-Rodríguez*
- 103** Calidad fisiológica de semilla en seis genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)  
Seed physiological quality in six genotypes of jalapeno pepper (*Capsicum annuum* L.)  
*Hipólito Hernández-Hernández, David Sánchez-Aspeytia, Mario Ernesto Vázquez-Badillo, Norma Angélica Ruiz-Torres, Valentín Robledo-Torres*
- 109** Aptitud combinatoria y heterosis en cruza experimentales de sorgo para grano  
Combining ability and heterosis in grain sorghum experimental crosses  
*Nury Deyanira Gutiérrez-Palacios, José Espinoza-Velázquez, Armando Rodríguez-García, Luis Ángel Muñoz-Romero, Alfonso López-Benítez*
- 121** Potencial de producción de inflorescencias en híbridos apomícticos de zacate buffel  
Inflorescence potential production in Buffelgrass apomict hybrids  
*Susana Gómez-Martínez, Jorge Raúl González-Domínguez, Juan Manuel Martínez-Reyna, Daniel Aldaco-Gómez*

**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.