

AHORA  
en línea!

# scientia

## CUCBA

JUNIO DE 2007

NÚMERO 1

VOLUMEN 9



Universidad de  
Guadalajara  
Centro Universitario de  
Ciencias Biológicas y  
Agropecuarias

COORDINACIÓN DE  
INVESTIGACIÓN

### CONTENIDO

Respuesta de variables morfométricas al déficit hídrico de dos especies de chile (*Capsicum frutescens* L. y *Capsicum annum* L., SOLANACEAE)

Alejandra Nieto-Garibay, Enrique Troyo-Diéguez y Eulogio Pimienta-Barrios 1

Pérdidas por plagas rizófagas en el maíz y su estratificación en el estado de Jalisco

Salvador de la Paz Gutiérrez, José de Jesús Sánchez González y José Ariel Ruiz Corral 9

Control del crecimiento y producción de fumonisinas por *Fusarium verticillioides* usando butilhidroxianisol bajo diferentes condiciones de actividad de agua

Rosa Marina Figueroa-Gómez, María Marta Reynoso, Waldina Patricia Reyes-Velázquez 23

Aptitud combinatoria de líneas de maíz QPM de dos grupos heteróticos del CIMMYT en la búsqueda de híbridos de cruza simple para la zona tropical y subtropical de México

Salvador Mena Munguía, Mario Abel García Vázquez, J. Jesús Sánchez González, Florencio Recendiz Hurtado, José Ron Parra, Norberto Carrizales Mejía y Rogelio Lepiz Idefonso 31

Chemical composition and nutritional evaluation of *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (FABACEAE-MIMOSOIDEAE) seeds from Jalisco and Nayarit, México

Lucía Barrientos R., Magdalena Segura N., Fernando López-Dellamary T., Jesús Vargas R., Fernando Navarro A., Francisco Zamora N., Anne Santerre L. 39

Estabilidad en genotipos de maíz tropical del patrón heterótico «Tuxpeño × Eto»

Norberto Carrizales Mejía, Hugo Córdova Orellana, José de Jesús Sánchez González, Salvador Mena Munguía, Fidel Márquez Sánchez, Florencio Recendiz Hurtado, †Mario Abel García Vázquez y †Juan Francisco Casas Salas 47

continúa en la contraportada

**CONTENIDO** *(continuación)*

Adaptación climática y distribución geográfica potencial del grupo racial Cónico de maíz (*Zea mays* L.) en la República Mexicana

Noé Durán Puga, José Ariel Ruiz Corral, José de Jesús Sánchez González, José Ron Parra y Diego Raymundo González Eguiarte **57**

Caracterización de una composta de residuos sólidos municipales y su uso en la producción de maíz

Marcos Rafael Crespo González, Diego Raymundo González Eguiarte, Ricardo Nuño Romero y Ernesto Alonso Miramontes Lau **69**

JUNIO DE 2007

NÚMERO **1**

VOLUMEN **9**



Consulte esta y otras publicaciones vía internet en  
[www.cucba.udg.mx/new/publicaciones](http://www.cucba.udg.mx/new/publicaciones)

**scientia**-CUCBA es el órgano oficial de difusión científica del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara. Es una publicación interdisciplinaria de ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales que se da a la luz cada seis meses.

**Editor Jefe:** Servando Carvajal.

## Comité Editorial

---

**Óscar Aguirre Calderón.** Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México.  
*oaguirre@fcf.unnl.mx*

**Esther Albarrán Rodríguez.** Departamento de Medicina Veterinaria, CUCBA. Zapopan, México.  
*ealbarra@cucba.udg.mx*

**Jacinto Bañuelos Pineda.** Departamento de Medicina Veterinaria, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México.  
*jpineda@cucba.udg.mx*

**Anatoli Borodanienko.** Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA), Universidad de Guanajuato, México.  
*anatolib@dulcinea.ugto.mx*

**Sara Caballero Chacón.** Departamento de Fisiología y Farmacología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México.  
*saracachas@hotmail.com*

**Miguel Ángel Carmona Medero.** Facultad de Veterinaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México.  
*medero48@hotmail.com*

**Servando Carvajal.** Departamento de Botánica y Zoología CUCBA. Zapopan, Jalisco, México.  
*scarvaja@cucba.udg.mx*

**Alejandro Castillo Ayala.** Universidad de Texas A & M, U.S.A.  
*a-castillo@tamo.edu*

**Luis Eduardo Chalita Tovar.** Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.  
*chalita@colpos.colpos.mx*

**Ir. Daniel G. Debouck.** Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.  
*d.debouck@ceglar.org*

**Eric Esteve.** Centro Mas Bove. Tarragona, España.  
*eric.esteve@irta.es*

**René Funes Rodríguez.** CICIMAR-IPN, Baja California, México.  
*rfunes@ipn.mx*

**Edmundo García Moya.** Colegio de Posgraduados de Chapingo, México.  
*edmundo@colpos.mx*

**Steve Gliessman.** Universidad de California, Campus Santa Cruz, usa.  
*gliess@zxc.ucsc.edu*

**Rafael Gómez Kasky.** Universidad de Las Villas, Cuba.  
*suspen@ibp.edu.cu*

**Eduardo González Izquierdo.** Universidad de Pinar del Río, Cuba.  
*eduardo@af.upr.edu.cu*

**David Hansen.** Midamerican International Agricultural Consortium, Iowa State University, U.S.A.  
*miac@iastate.edu*

**Clemente Lemus Flores.** Instituto de Medicina Veterinaria de la Universidad Autónoma de Nayarit, México.  
*clemus@nayar.mx*

**Rogelio Lépiz Ildefonso.** Departamento de Producción Agrícola, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México.  
*rlépiz@cucba.udg.mx*

**Ángel Luque Escalona.** Universidad de Las Palmas, Gran Canaria, España.  
*aluque@dbio.ulpgc.cs*

**Jorge Manzo.** Laboratorio de Neurociencias, Universidad Veracruzana, México.  
*jmanzo@altavista.net*

**Jaime Morales Hernández.** Programa Universitario de Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), Jalisco, México.  
*jaimem@iteso.mx*

**Xavier Navarro Acebes.** Department of Biología Celular, de Fisiología i d'immunología, Bellaterra, España.  
*Xavier.Navarro@uab.es*

**Guillermo A. Navarro.** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) - Turrialba, Costa Rica.  
*gnavarro@catie.ac.cr*

**Michael F. Notan.** Collage of Agricultura, Food & Natural Resources, University of Missouri, Columbia, U.S.A.  
*agmike@muccmail.missouri.edu*

**Alejandro Ortega Corona.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Ciudad Obregón, Sonora, México.  
*aoc@cirno.inifap.conacyt.mx*

**Daniel Ortuño Sahagún.** Departamento de Biología Celular y Molecular, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México.  
*dortunos@cucba.udg.mx*

**José Manuel Palma García.** Universidad de Colima, México.  
*palma@cgic.ucol.mx*

**Alfonso Peña Ramos.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-Ags.), Aguascalientes, México.  
*apena@pabellon.inifap.gob.mx*

**Enrique Pimienta Barrios.** Departamento de Producción Agrícola, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México.  
*enriquep@cucba.udg.mx*

**Oliver Prateval Algels.** Centro de Tecnología de la Carne. Monells (Girona) España.  
*mariaangeles.oliver@irta.es*

**Ruperto Quesada Monge.** Instituto Tecnológico de Costa Rica.  
*rquesada@itcr.ac.cr*

**José Luis Quintanar Stephano.** Departamento de Fisiología y Farmacología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.  
*jlquinta@correo.uaa.mx*

**Javier Ramírez Juárez.** Colegio de Posgraduados, Campus Tecamachalco, Puebla, México.  
*rjavier@colpos.colpos.mx*

*continúa en la tercera de forros*

## Comité Editorial (continuación)

**J. Antonio Rentería Flores.** Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal. INIFAP. Ajuchitlan, Querétaro. México. [rent0021@hotmail.com](mailto:rent0021@hotmail.com)

**Eduardo Ríos Jara.** Departamento de Ecología, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. [edurios@cucba.udg.mx](mailto:edurios@cucba.udg.mx)

**José de Jesús Sánchez González.** Departamento de Producción Agrícola, CUCBA. Zapopan, Jalisco. México. [jjsanche@cucba.udg.mx](mailto:jjsanche@cucba.udg.mx)

**Juan de Jesús Taylor Preciado.** Departamento de Medicina Veterinaria, CUCBA. Zapopan, Jalisco. México. [jjtaylor@cucba.udg.mx](mailto:jjtaylor@cucba.udg.mx)

**Joan Tibau.** Centro de Control Porcino. Monells (Girona) España. [joan.tibau@irta.es](mailto:joan.tibau@irta.es)

**Francisco José Trigo Tavera.** División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México. [trigo@servidor.unam.mx](mailto:trigo@servidor.unam.mx)

**Enrique Trovo Diéguez.** CIBNOR, Baja California, México. [etrovo@cibnor.mx](mailto:etrovo@cibnor.mx)

**Raúl E. Vargas García.** Departamento de Medicina Preventiva, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México. [revg@servidor.unam.mx](mailto:revg@servidor.unam.mx)

**Mario Abel Vázquez García.** Departamento de Producción Agrícola, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. [mgarcia@cucba.udg.mx](mailto:mgarcia@cucba.udg.mx)

**Alejandro Velásquez Martínez.** Colegio de Posgraduados de Chapingo, México. [alevela@colpos.mx](mailto:alevela@colpos.mx)

**Enrique Verdú Navarro.** Departament de Biologia Cel·lular, de Fisiologia i d'immunologia, Bellaterra, España. [Enric.Verdu@uab.es](mailto:Enric.Verdu@uab.es)

**Francisco Villalpando Ibarra.** Organización Meteorológica Mundial (OMM), Ginebra, Suiza. [fvillalpando@bliuwin.ch](mailto:fvillalpando@bliuwin.ch)



DIRECTORIO DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**Carlos Jorge Briseño Torres**

RECTOR GENERAL

**Gabriel Torres Espinoza**

VICERRECTOR EJECUTIVO

**José Alfredo Peña Ramos**

SECRETARIO GENERAL

**Juan de Jesús Taylor Preciado**

RECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

**Enrique Pimienta Barrios**

SECRETARIO ACADÉMICO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

**Servando Carvajal**

COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

**scientia-CUCBA** (ISSN: 1665-8493) es una publicación semestral (junio, diciembre) y está disponible mediante suscripción que puede hacerse a la Coordinación de Investigación del CUCBA, U. de G., km 15.5 Carretera Guadalajara a Nogales, Las Agujas, Zapopan, 45110, Jalisco, México. Tel.: (0133) 3777 1155; Fax.: (0133) 3777 1150.

**CERTIFICADO DE RESERVA DE DERECHOS AL USO EXCLUSIVO NÚMERO: 04-2003-101714124100-102**

*La opinión que se expresa en los artículos es responsabilidad de los autores. Se autoriza la reproducción total o parcial de los trabajos, siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro.*

**Auxiliar en la edición:**

MICHELLE ANN MERRITT WALTHER  
Coordinación General de Cooperación e Internacionalización. Unidad de Lenguas.  
Universidad de Guadalajara.

# Respuesta de variables morfométricas al déficit hídrico de dos especies de chile (*Capsicum frutescens* L. y *Capsicum annuum* L., SOLANACEAE)

**Alejandra Nieto-Garibay<sup>1</sup>, Enrique Troyo-Diéguez<sup>1</sup> y Eulogio Pimienta-Barrios<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. (CIBNOR) Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Mar Bermejo # 195 Col. Playa Palo de Sta Rita. C.P.23090 La Paz B.C. Sur. Correo electrónico: anieto04@cibnor.mx, etroyo04@cibnor.mx

<sup>2</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. México. Correo electrónico: epimient@maiz.cucba.udg.mx

**Resumen:** Se estudió la respuesta de variables morfométricas al déficit hídrico de plantas de dos especies de chile, *Capsicum frutescens* (especie semidomesticada) y *C. annuum* (especie cultivada), en virtud de la importancia económica que representa el cultivo de chile en Baja California Sur, México, y los factores de estrés que debe enfrentar durante su desarrollo bajo condiciones de sequía. Los resultados muestran que las plantas de ambas especies disminuyeron su número de hojas, la longitud de tallo y sus raíces como respuesta al estrés hídrico. *C. frutescens* bajo déficit hídrico presentó una mayor producción de hojas comparada con plantas de *C. annuum* bajo el mismo tratamiento; dicho mecanismo le permite mantener una transpiración suficiente para realizar sus actividades metabólicas. Las plantas de *C. frutescens* desarrollaron una mayor biomasa seca de raíz lo cual representa la posibilidad de explorar un mayor volumen de suelo y de aprovechar una mayor superficie de captación de agua. *C. frutescens* en comparación con *C. annuum* parece tener mecanismos morfológicos que le han resultado en una mayor adaptación a las condiciones áridas de Baja California Sur, México.

**Palabras clave:** Variables morfométricas, *C. frutescens*, *C. annuum*, Déficit hídrico.

**Abstract:** Due to the economic importance of hot pepper crop in Baja California Sur, Mexico, and to the stress factors that it must face during its development under the prevailing conditions of drought, the responses of morphometric variables of plants of two species of chili, *Capsicum frutescens* (semidomesticated species) and *C. annuum* (cultivated species), under water deficit, were studied. Results show that plants of both species decreased in the number of leaves, length of stem and roots as a response to water stress. *C. frutescens* under water deficit presented a greater production of leaves when compared with plants of *C. annuum* under the same treatment; this mechanism favors the maintenance of sufficient transpiration to carry out metabolic activities. Plants of *C. frutescens* developed more root dry biomass, which implies the possibility of exploring a greater volume of soil and of harnessing more water. *C. frutescens*, compared to *C. annuum*, seems to have morphologic mechanisms that have resulted in a more suitable adaptation to the arid conditions of Baja California Sur.

**Key words:** Morphometric variables, *Capsicum frutescens*, *C. annuum*, Water deficit.

## Introducción

El género *Capsicum* (Solanaceae) representa uno de los cultivos hortícolas más importantes en el mundo; incluye alrededor de 30 especies de las cuales *C. annuum* es una de las especies más cultivadas y por lo tanto de mayor importancia económica tanto en México como en el mundo (Hernández-Verdugo et al. 2001). La especie *C. annuum* está representada por una diversidad de chiles verdes y es cultivada en todo México incluyendo las zonas áridas y semi-áridas del noroeste de México, a pesar de reportarse como una especie sensible a la sequía (De Pascale et al. 2003); su cultivo obedece tanto a su importancia económica como cultural. La especie *C. frutescens* es otra de las especies de chile que ha ido cobrando importancia económica ya que a ella pertenecen los chiles tipo "Tabasco" y "Cayene" comercializados en todo el mundo. Además, es una de las principales especies de donde se extraen los capsaicinoides, metabolitos secundarios utilizados en la industria farmacéutica, cosmetológica y alimentaria (Salgado 1989). En Baja California Sur, como parte de los estados pertenecientes al noroeste de México, el cultivo de chile se realiza bajo condiciones de precipitación pluvial escasa, la cual oscila entre 100 y 200 mm, con evapotranspiración potencial media anual de 2000 mm y temperaturas de 35 a 40 °C durante el verano, por lo que solo puede mantenerse hasta fines de primavera (Murillo-Amador et al. 2001; Nieto-Garibay et al. 2001), con riegos y fertilización adecuados.

En el año 2004 el cultivo del chile en Baja California Sur representó el 7.8% de la superficie total sembrada y casi 39% de la superficie total sembrada con hortalizas. Desde hace varias décadas el cultivo del chile es el segundo más importante dentro de las hortalizas, después del cultivo de tomate en el citado estado. Desde el punto de vista económico, de este cultivo se obtiene un valor de producción que representa cerca de 9.5% de la producción total y

el 16% dentro de las hortalizas, siendo el cultivo más redituable dentro de los cultivos hortícolas junto con el tomate (SAGARPA 2005). Las principales variedades ('Serrano', 'California', 'Ancho' y 'Pimientos') pertenecen a la especie *Capsicum annuum*, de la cual existen estudios y reportes acerca de las mejores variedades según sus respuestas a ambientes áridos (Santos-Díaz y Ochoa-Alejo 1994; Chartzoulakis y Lapaki 2000). Sin embargo, existen en el estado especies como *C. frutescens* que ha sido manejada por varias generaciones sucesivas de manera empírica y rústica, en huertos familiares. Presenta características de adaptación a las condiciones ambientales de la región, incluyendo sequías prevalecientes y altas temperaturas, por lo que ha desarrollado mecanismos ecofisiológicos con bajos requerimientos de agua, ciclo de vida más largo y producción sostenida. No ha alcanzado una condición completa de domesticación a causa de su bajo porcentaje de germinación, pero a su vez ha superado condiciones silvestres, como el estado de latencia en semillas sujeto a la oscuridad y a la condición de potencial hídrico (Harlan 1983; Hernández-Verdugo et al. 2001;). Los estudios realizados sobre *C. frutescens* y su adaptación a dichos ambientes son escasos. Por lo anterior, es necesario ampliar las investigaciones que generen el conocimiento de las estrategias morfológicas, entre otras, que las plantas de este potencial nuevo cultivo presentan, así como su relación con los factores ambientales que caracterizan las zonas áridas. Por otro lado, *C. annuum* y *C. frutescens* son dos de las especies presumiblemente domesticadas en nuestro país cuyo acervo genético es indispensable conservar y estudiar para su mejor aprovechamiento. Por lo anterior, en el presente trabajo se estudiaron las respuestas de algunas variables morfométricas de la variedad de chile 'California' var. 'Joe Parker' de la especie *C. annuum* y una variedad semi-domesticada de *C. frutescens*, establecida en el estado de Baja California Sur tradicionalmente en huertos

familiares, con el objetivo de conocer las estrategias morfológicas, así como sus respuestas a las condiciones prevalecientes en ambientes áridos.

## Materiales y métodos

El trabajo experimental se realizó en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR). El CIBNOR se localiza en la porción meridional de la Península de Baja California, en las coordenadas 24° 08' latitud Norte y 110° 24' longitud Oeste, a 17 Km. al oeste de la Ciudad de La Paz, en el extremo sur occidental de la Bahía de La Paz Baja California Sur (BCS), México.

### OBTENCIÓN DE SEMILLAS Y PLÁNTULAS

Se obtuvieron las semillas de plantas sembradas en el CIBNOR que provenían, a su vez, de plantas-progenitoras colectadas en huertos familiares de casas y predios rurales, en El Centenario B.C.S., población cercana al CIBNOR. En el caso de *C. annuum*, se utilizaron semillas comerciales de Chile tipo California variedad Joe Parker ('FAX', lote MVF-CT-02, con 85% de germinación), la cual es ampliamente cultivada como hortaliza importante en el noroeste de México. Las semillas se sembraron en placas para germinación de unicel con sustrato orgánico comercial (Sun Shine 3 mix), las cuales se regaron a diario con agua corriente. La fertilización que se aplicó consistió en producto fertilizante proporcionado a través del riego con una dosis de 100 ppm de nitrógeno a base de fertilizante comercial (18-18-18 NPK), así como fertilizante foliar comercial equivalente a 20-30-10 (NPK). Una vez que se obtuvieron las plántulas se transplantaron en macetas de plástico con dimensiones y capacidad de 5 litros a los 30 días de haber emergido. El sustrato que se utilizó fue una combinación de suelo, arena y sustrato orgánico comercial (Sun shine 3 mix) en proporciones 1:1:1 (v:v:v). El suelo, con textura migajón arenosa se extrajo del

campo experimental del CIBNOR, donde se realizó el experimento. A los 13 días las plántulas se fertilizaron con una dosis equivalente a 100 ppm de N con un fertilizante a base de 18-18-18 (NPK) y un fertilizante foliar comercial 20-30-10 (NPK), a una dosis de 2 g/l. Las plantas se mantuvieron con suficiente agua hasta el inicio del experimento. Este comenzó una vez que las plantas tuvieron 25 días de aclimatación en macetas colocadas en un invernadero de malla sombra. Se eligieron plantas homogéneas y se llevaron a capacidad de campo (CC); a partir de este momento se eligieron plantas homogéneas para el tratamiento de déficit hídrico.

### DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El trabajo se organizó mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial con dos especies de Chile *C. frutescens* L. y *C. annuum* L., un tratamiento de déficit hídrico y el grupo control (sin déficit hídrico); el número de repeticiones varió de 3 a 5 dependiendo de la variable a medir. El tratamiento de déficit hídrico consistió en plantas a las que después de haberse llevado a capacidad de campo no se regaron sino hasta que presentaron síntomas de estrés hídrico (pérdida de turgencia de las hojas desde las primeras horas matinales) sin llegar al punto de marchitamiento permanente. Se contó con 4 tratamientos incluyendo los grupos control, los cuales se describen a continuación:

- 1.- Plantas de Chile *C. annuum* sin déficit hídrico (PSDA) (control)
- 2.- Plantas de Chile *C. annuum* con déficit hídrico (PCDA)
- 3.- Plantas de Chile *C. frutescens* sin déficit hídrico (PSDF) (control)
- 4.- Plantas de Chile *C. frutescens* con déficit hídrico (PCDF)

La humedad del suelo (HS) (%) se determinó por el método gravimétrico (Hebert 1992; UABCS Manual operativo del laboratorio de suelo y agua 1991; Torres

1983). Se utilizaron 5 macetas por tratamiento como repetición obteniendo una muestra de suelo por maceta, tomando la muestra desde la parte inferior de la maceta hasta la superior. Las muestras de suelo fueron transportadas en recipientes cerrados al Laboratorio de Edafología para obtener el peso fresco de la muestra. Posteriormente las muestras se secaron en un horno de flujo laminar (Blue M, OV-490A) a 80° C hasta alcanzar peso constante (24 horas), para obtener su peso seco y aplicar la ecuación:

$$\%H = (Psh - Pss) \times 100 / Pss$$

donde:

Psh = Peso de suelo húmedo

Pss = Peso de suelo seco

La humedad del suelo se determinó durante todo el experimento.

#### MEDICIÓN DE VARIABLES MORFOMÉTRICAS

Se seleccionaron cuatro plantas por tratamiento para obtener las mediciones morfométricas, las cuales consistieron en altura total de planta (AT) (cm), número de hojas (No.H), suma del área foliar (AFT) con medidor de área foliar Li-Cor 3000A (Li-Cor Inc, Lincoln, Nebraska USA), longitud de raíz (cm) y longitud de tallo (cm). Asimismo se obtuvo el peso fresco de raíz (PFR), tallo (PFT) y hojas (PFH) secando las muestras en un horno a 80 °C hasta obtener el valor correspondiente a peso constante, para posteriormente ser pesadas en una balanza analítica (METTLER TOLEDO, AG204, Japan) y obtener su peso seco (PSR, PST, PSH); los resultados se expresan en gramos. Los datos de las variables de peso se utilizaron para realizar el cálculo de biomasa por planta y total.

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron análisis de varianza factoriales y análisis de varianza simples; cuando se detectaban diferencias significa-

tivas se aplicó la prueba de comparación de grupos según Fisher LSD (DMS) ( $P < 0.05$ ). Los análisis se realizaron con el programa para computadora Statistica versión 6 de StatSoft.

## Resultados

### HUMEDAD DEL SUELO

Los resultados muestran las diferencias significativas de los promedios de la humedad en el suelo entre los tratamientos para ambas especies de chile con déficit hídrico y sin déficit hídrico (cuadro 1).

### PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Los resultados muestran que el desarrollo del tallo presentó diferencias significativas entre tratamientos; el peso fresco del tallo (PFT) y peso seco del tallo (PST) fueron mayores para las plantas sin déficit hídrico de *C. frutescens* (PSDF). Se encontró que el menor desarrollo correspondió a las plantas de *C. annuum* en los dos tratamientos (PCDA y PSDA) (cuadro 2). A su vez, las plantas bajo déficit hídrico de *C. frutescens* (PCDF) presentaron mayores valores de PFT, PST y LT que las plantas bajo los tratamientos PCDA y PSDA pero más bajos que PSDF. El desarrollo de las hojas de las plantas PSDF presentaron los mayores

Cuadro 1. Promedios (n = 68) y resultado del análisis de grupos homogéneos de la prueba de Fisher LSD ( $P = 0.01$ ) PSDA plantas de *Capsicum annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *Capsicum frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico y PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

Tratamientos	HS (%)
PSDA	19b
PCDA	11a
PSDF	21b
PCDF	11a

Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Cuadro 2. Resultados del análisis de grupos homogéneos de Fisher LSD (P = 0.01) de las variables morfométricas medidas en los diferentes tratamientos (n = 4). PSDA plantas de *Capsicum annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

	PFT	PST	LT	PFH	PSH	No.H	AFT	No.F	PFF	PSF	PFR	PSR	LR
PSDA	23.3a	3.79a	35.4a	26.5a	4ab	49.8a	1039ab	6.4a	43.3b	5.7b	10.6a	1.4a	22.4ab
PCDA	17.5a	2.666a	30.5a	20a	3a	36.6a	889a	2.4b	13.9a	1.7a	11a	1.5a	22.6b
PSDF	53.9c	13.64c	55.8b	38b	8c	175.5c	1833c	5.7a	3.1a	0.60a	10ab	3.3c	19.7ab
PCDF	36.7b	9.176b	49.4b	27.6a	5.7b	127.4b	1338b	6.4a	2.7a	0.50a	7b	2.4b	17.4a

PFT peso fresco de tallo (g), PST peso seco de tallo (g), LT longitud de tallo (cm), PFH peso fresco de hojas (g), PSH peso seco de hojas (g), No.H número de hojas, AFT área foliar total (cm<sup>2</sup>), No.F número de frutos, PFF peso fresco de frutos (g), PSF peso seco de frutos (g), PFR peso fresco de raíz (g), PSR peso seco de raíz (g), Longitud de raíz (cm). Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

valores para las variables peso fresco de las hojas (PFH), peso seco de las hojas (PSH), número de hojas (No.H) y área foliar total (AFT). Los tratamientos restantes presentaron valores menores y en el caso del No.H las plantas de *C. frutescens* presentaron un mayor valor comparadas a PSDA y PCDA. La producción de frutos mostró diferencias significativas en número para las plantas PCDA con un menor número que el resto de los tratamientos, en tanto que las plantas de PSDA mostraron mayores valores de PFF y PSF que el resto de los tratamientos (cuadro 2). El desarrollo de la raíz mostró diferencias significativas en las variables de peso fresco de raíz (PFR) y longitud de raíz (LR), donde las plantas del tratamiento PCDF presentaron un menor valor. En cuanto al peso seco de raíz (PSR), las plantas de la especie *C. annuum* bajo ambos tratamientos presentaron un menor PSR (cuadro 2). En cuanto a los índices 'peso fresco de raíz'/peso fresco de parte aérea' (PFR/ PFA) y 'Longitud de raíz'/longitud de parte aérea' (LR/LA), las plantas de los tratamientos PCDA y PSDA presentaron un mayor valor que las plantas de PCDF y PSDF. La relación de peso seco de raíz/peso seco de parte aérea (PSR/PSA) fue significativa para las PCDA presentando un valor menor que el resto de los tratamientos (cuadro 3). Al analizar los datos mediante ANOVA simple para conocer las diferencias entre especies, se

encontró que *Capsicum frutescens* obtuvo los valores mayores con respecto al desarrollo del tallo (PFT, PST LT) y hoja (PFH, PSH, No.H, AFT) que *C. annuum*. Con respecto al desarrollo de raíz se muestra que las plantas de *C. frutescens* presentaron una menor longitud de raíz, sin embargo presentaron un mayor peso seco de las mismas y no presentaron diferencias significativas en el peso fresco. En cuanto a los frutos producidos, no se detectaron diferencias significativas en el número de frutos entre especies. Las diferencias del peso fresco y seco de frutos (PFF y PSF) se presentaron entre especies de Chile; *C. annuum* presentó mayor de

Cuadro 3. Resultados de comparación de grupos según la LSD (DMS) de Fisher (P = 0.01) para las variables de las proporciones en los diferentes tratamientos (n = 4). PSDA plantas de *Capsicum annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

Tratamientos	PFR/PFA	PSR/PSA	LR/LA
PSDA	0.218b	0.181a	0.635b
PCDA	0.306b	0.267b	0.746b
PSDF	0.108a	0.154a	0.355a
PCDF	0.113a	0.162a	0.351a

PFR = Peso fresco de raíz, PFA = peso fresco parte aérea de la planta, PSR = Peso seco de raíz, PSA = peso seco de la parte aérea de la planta, LR = Longitud de raíz. Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Cuadro 4. Promedios (n = 4) y resultados de la comparación de grupos por prueba de LSD (DMS) de Fisher (P = 0.01) de las variables morfométricas de las dos especies de Chile.

Especie	PFT	PST	LT	PFH	PSH	No.H	AFT	No.F	PFF	PSF	PFR	PSR	LR
<i>C. annuum</i>	20.4a	3.2a	32.9a	23.3a	3.7a	43.2a	964a	4.40	28.6a	3.7a	10.8	1.4a	22.5a
<i>C. frutescens</i>	44.3b	11.1b	52.2b	32.3b	6.7b	148b	1558b	5.11	2.9b	0.5b	8.4	2.8b	18.4b

PFT peso fresco del tallo, PST peso seco del tallo, LT longitud del tallo, PFH peso fresco de hojas, PSH peso seco de hojas, No.H número de hojas, AFT área foliar total, No.F número de frutos, PFF peso fresco de frutos, PSF peso seco de frutos, PFR peso fresco de raíz, PSR peso seco de raíz, Longitud de raíz. Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

PFF y PSF que *C. frutescens* (cuadro 4). La relación PFR/PFA y LR/LA fue mayor para *C. annuum*, mientras que para PSR/PSA no fue significativa (cuadro 5).

## Discusión

El menor desarrollo de hojas, tallo y raíz de plantas bajo déficit hídrico de ambas especies de Chile es un claro efecto del estrés hídrico en plantas (Rodríguez et al. 2005). Lo anterior puede manifestarse como un mecanismo para evadir la pérdida de agua a través de la reducción de la superficie transpiratoria de la planta representada por el tejido foliar en el cual se lleva a cabo ocurre la mayor pérdida de agua por transpiración (Turner y Jones 1980; Salisbury y Ross 1994). Los resultados de la comparación entre especies muestra que las plantas de *Capsicum frutescens* bajo estrés hídrico presentaron un mayor desarrollo de hojas, tallo y peso seco de raíz que las plantas de *C. annuum* bajo el mismo tratamiento. Esto representa para *C. frutescens* un mecanismo para asegurar una superficie transpiratoria suficiente para llevar a cabo sus actividades metabólicas. Como menciona Steudle (2000), el mantenimiento de la transpiración en plantas bajo déficit hídrico es de suma importancia y cuando se provee de una transpiración suficiente se favorece el flujo de agua mediante fuerzas hidráulicas de tal manera que esto le permite a la planta tener acceso al agua del suelo a bajos potenciales de agua. Por otro lado, los resultados del mayor peso seco de raíz que presentaron las plantas de *C. frutescens*

Cuadro 5. Promedios (n = 4) y resultados de la comparación de grupos por la prueba LSD (DMS) de Fisher (P = 0.01) de las relaciones entre PFR = Peso fresco de raíz, PFA = peso fresco parte aérea de la planta, PSR = Peso seco de raíz, PSA = peso seco de la parte aérea de la planta y LR = Longitud de raíz.

Especie	PFR/PFA	PSR/PSA	LR/LA
<i>C. annuum</i>	0.262a	0.224	0.691a
<i>C. frutescens</i>	0.111b	0.159	0.353b

Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

bajo tratamiento de déficit hídrico, muestra un mayor desarrollo de estructura radical representada al parecer en número de raíces secundarias (datos no medidos), más que en la longitud de la misma. El incremento en el número de raíces como estrategia para una mayor captación y retención de agua en plantas bajo condiciones de estrés hídrico ha sido expuesto por diversos autores en diferentes especies como el maíz, trigo, cebolla y Chile (Steudle y Peterson 1998; Whalley et al. 2001; De Pascale et al. 2003; Dhanda et al. 2004). Una estrategia común es el aumento en la superficie radical para explorar un mayor volumen de suelo y tener una mayor posibilidad de obtención de agua. Por otro lado, los resultados de las variables morfométricas muestran el estado de domesticación y semi-domesticación de la especie *C. annuum* y *C. frutescens* respectivamente. El mayor peso seco de raíz, área foliar, número de hojas y longitud de tallo pueden representar una expresión del contenido de la información genética de la planta. Las

plantas silvestres de *Capsicum* son plantas herbáceas semi-perennes con un desarrollo erecto y que pueden llegar a medir hasta 4 m de altura; los frutos son pequeños, rojos, pungentes y erectos, en tanto que las semillas presentan latencia a la oscuridad (Hernández-Verdugo et al. 2001). En contraste, la especie *C. annuum* ha sido sometida a una transformación de características, debido a su domesticación y mejoramiento, conservando las que se han modificado en mayor beneficio para ser cultivada como hortaliza mejorada por el hombre, buscando una mayor tasa de germinación y uniformidad de frutos de mayor tamaño (Hernández-Verdugo et al. 1998). *C. frutescens* por su parte permite una alteración o rompimiento hasta cierto grado de la latencia de semillas, pero con bajos porcentajes de germinación, condición inicial común de una planta semi-domesticada (Ladisinzky 1985; Hernández-Verdugo et al. 1998; Ramírez-Meraz et al. 2002). Con respecto a las características morfológicas, *C. frutescens* conserva varios de sus atributos originales anteriormente mencionados.

## Conclusiones

Los parámetros morfométricos evaluados reflejaron el estado de mayor adaptación de *Capsicum frutescens* a las condiciones de sequía del suelo que caracteriza la región árida y la sensibilidad de la especie *C. annuum* a dichas condiciones. Para enfrentar la sequía, la estrategia morfo-fisiológica de la especie *C. frutescens* incluye el mantenimiento de una transpiración a través de una mayor producción de tejido foliar y producción de biomasa seca de raíz. La condición semi-domesticada de *C. frutescens* se reflejó en su morfometría expresando una mayor altura de la planta y menor tamaño y peso de frutos, características propias de plantas silvestres del género *Capsicum*.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por los técnicos del Laboratorio de Fisiotecnia Vegetal del CIBNOR, M.C. Carmen Mercado Guido y c.M.C. Lidia Hirales Lucero. Asimismo, este estudio se realizó gracias al financiamiento mediante el Proyecto del CIBNOR ZA-3.2, y del Proyecto 034-C (CONAFOR-2004-Co4-03) financiado por el Fondo Sectorial CONA-CyT-CONAFOR. A dos revisores anónimos sus sugerencias.

## Literatura citada

- Chartzoulakis, K. y G. K. Lapaki.** 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* **86**: 247-260.
- De Pascale, S., C. Ruggiero, G. Barbieri y G. Maggio.** 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. *Journal of American Society of Horticulture Science* **128** (1): 48-54.
- Dhanda, S.S., G. S. Sethi y R. K. Behl.** 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *Journal of Agronomy & Crop Science* **190**: 6-12.
- Harlan, J. R.** 1983. Directing the accelerated evolution of crops plants, pp. 61-69. In: *Strategies of Plant Reproduction*. Meudt, J. (eds). Ed. BARC Symposium 6. Allanel, Osmun Publishers. Granada.
- Herbert del Valle, F.** 1992. *Prácticas de relaciones agua - suelo - planta - atmósfera*. UACH, Chapingo, Texcoco, México, 167 pp.
- Hernández-Verdugo S., K., Oyama y C. Vázquez-Yanes.** 2001. Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in Mexico. *Plant Ecology* **155**: 245-257.
- Hernández-Verdugo S., R. G. Guevara-González, R. F. Rivera-Bustamante, C. Vázquez-Yañez y K. Oyama.** 1998. Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp.) como recursos genéticos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **62**: 171-181.
- Ladisinzky, G.** 1985. Founder effect in crop-plant evolution. *Economy Botany* **39**: 191-199.

- Murillo-Amador, B., E. Troyo-Diéguez, A. López-Cortés, H. G. Jones, F. Ayala-Chairez y C. L. Tinoco-Ojanguren.** 2001. Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **41**: 81–88.
- Nieto-Garibay, A., B. Murillo-Amador y E. Troyo-Diéguez.** 2001. Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamientos de composta y fertilizante químico. *PHYTON-International Journal of Experimental Botany* **2001**: 25–34.
- Ramírez-Meraz, M., O. C. Pozo, L. A. Rodríguez del Bosque, T. M. H. Medina y M. Villalón.** 2002. Production technology for piquin pepper (*Capsicum annum* var. *arvivarum*). *Proceedings of the 16th International Pepper Conference*, Tampico, Tamaulipas, Mexico, pp. 12–13.
- Rodríguez, P., A. Torrecillas, M. A. Morales, M. F. Ortuño, M. J. Sánchez-Blanco.** 2005. Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscos maritimus* plants. *Environm. and Experim. Botany* **53**: 113–123.
- Salgado, G. R.** 1989. *Aislamiento y Caracterización de Líneas Celulares de Chile (Capsicum frutescens L.) resistentes a fluorofenilalanina: implicaciones en la producción de capsaicina*. Tesis de M. en C. CINVESTAV-IPN. Irapuato, Guanajuato. 98 pp.
- Salisbury, B. F. y C. W. Ross.** 1992. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica, México, DF. 750 pp.
- Santos-Díaz, M. S. y N. Ochoa-Alejo.** 1994. PEG-tolerant cell clones of chili pepper: growth, osmotic potentials and solute accumulation. *Plant Cell, Tissue and Organ Cult* **37**: 1–8.
- SAGARPA.** 2005. *Reporte mensual de avances de siembra y cosecha*. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Delegación Estatal de Baja California Sur.
- Steudle, E., y C. A. Peterson.** 1998. How does water get through roots? *Journal of Experimental Botany* **49**(322): 775–788.
- Steudle, E.** 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany* **51**(350): 1531–1542.
- Torres, R. E.** 1983. *Agrometeorología*. Diana México 149 pp.
- Turner, N.C. y M. M. Jones.** 1980. Turgor Maintenance by Osmotic Adjustment: A Review and Evaluation. In: *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. N.C. Turner & P.J. Kramer (eds) Australia.
- UABCS.** 1991. *Manual operativo del laboratorio de suelo y agua*. Manuales Universitarios 8. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, BCS, México. 91 pp.
- Whalley, W. R., J. Lipiec, W. E. Finch-Savage, R. E. Cope, L.J. Clark y H. R. Rowse.** 2001. Water stress can induce quiescence in newly-germinated onion (*Allium cepa* L.) seedlings. *Journal of Experimental Botany* **52**(358): 1129–1133.

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN  
29 DE JUNIO DE 2007

# Pérdidas por plagas rizófagas en el maíz y su estratificación en el estado de Jalisco

Salvador de la Paz Gutiérrez<sup>1</sup>, José de Jesús Sánchez González<sup>2</sup> y José Ariel Ruiz Corral<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, km 15.5 Carretera Guadalajara a Nogales, Zapopan, 45101, Jalisco.

<sup>2</sup>Instituto de Manejo y Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos, Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, km 15.5 Carretera Guadalajara a Nogales, Zapopan, 45101, Jalisco.

<sup>3</sup>Centro de Investigación Regional del Pacífico (CIRPAC), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Correo electrónico: ruiz.ariel@inifap.gob.mx.

**Resumen:** Con el objetivo de estimar la magnitud de las pérdidas causadas al cultivo del maíz por el complejo de plagas rizófagas constituido por la doradilla *Diabrotica* spp., el esqueletonizador *Colaspis* spp., los falsos y verdaderos gusanos de alambre (Familias: Elateridae y Cebionidae) y la gallina ciega (Géneros: *Phyllophaga*, *Cyclocephala* y *Anomala*), se hizo un análisis para determinar el comportamiento de los daños en un periodo de 20 años y clasificar los municipios con base a las pérdidas del rendimiento de grano en kilogramos por hectárea (kg/ha). Se revisaron 42 trabajos publicados y 39 informes de investigación sin publicar, lo que dio un total de 81 documentos consultados. En todos los trabajos se consideró el rendimiento de grano en kg/ha del mejor tratamiento químico y el del testigo sin aplicación. Los datos se analizaron mediante una prueba de "t" y mediante regresión lineal simple y cuadrática. Las pérdidas en el rendimiento de grano de maíz en Jalisco causadas por las plagas rizófagas son de 976 kg/ha por año. Los daños por estas plagas no son estáticos y tienden a incrementarse a través del tiempo. Se clasificó a los municipios considerando su nivel de pérdidas, en los siguientes grupos: 1) Los municipios de alto riesgo, por representar pérdidas altas (1,834 kg/ha), 2) con pérdidas intermedias (710 kg/ha) y finalmente, 3) Los municipios con pérdidas mínimas (290 kg/ha).

**Palabras clave:** *Diabrotica* spp., *Colaspis* spp., *Phyllophaga* spp., *Cyclocephala* spp. y *Anomala* spp.

**Abstract:** The objectives of this study were to estimate the magnitude of corn losses caused by the complex of root larvae, formed by corn rootworms (*Diabrotica* spp.), the grape colaspis (*Colaspis* spp.), the false and true wireworms (Families: Elateridae and Cebionidae) and white grub larvae (*Phyllophaga* spp., *Cyclocephala* spp. and *Anomala* spp.). For this purpose an analysis was made to determine the extent of the damages over a period of 20 years and to classify the counties by loss of grain yield in kg/ha. Forty-two published documents and thirty-nine non-published research documents, a total of eighty-one documents, were reviewed. In all of them the yield of the best chemical treatment and the control treatment without application were considered. Data was analyzed by means of a "t" test and linear and quadratic regression. Based on the data analysis, root larvae caused losses in grain yield of 976 kg/ha per year in Jalisco. The damages caused by these pests are not static and tend to increase through time. Each county was classified considering its level of losses in the following groups: 1) The areas of high risk (losses of 1,834 kg/ha), 2) The areas with intermediate losses (710 kg/ha) and finally, 3) The municipalities of low risk, with minimum losses (290 kg/ha).

**Key words:** *Diabrotica* spp., *Colaspis* spp., *Phyllophaga* spp., *Cyclocephala* spp., and *Anomala* spp.

## Introducción

En México, el maíz es el cultivo de mayor importancia social y económica que ocupa el primer lugar en superficie cosechada y producción. En el 2003, se cosecharon 5.24 millones de hectáreas, estimándose una producción de 12.2 millones de toneladas de grano y un rendimiento medio de 2.32 toneladas/hectárea (INEGI, 2004a). La dieta alimenticia del pueblo mexicano se fundamenta en el consumo de este grano que se estima en 180 kilogramos/persona/año (INEGI 1989). Este cultivo proporciona empleo y medios de subsistencia al 25% de la población económicamente activa del país (INEGI 1988).

No obstante la importancia del cultivo en la República Mexicana, su producción es insuficiente para satisfacer la demanda interna estimada en 25.7 millones de toneladas lo que origina un gran déficit que se cubre con importaciones que tienen un costo de 1,062 millones de dólares (INEGI 2004a). Por otro lado, la población de México para el año 2000 fue de 97.5 millones de habitantes (INEGI 2002) y su proyección para el año 2010 se calcula en 118 millones (Anónimo 1996). Esta situación hace patente la necesidad de incrementar la producción nacional para ser autosuficientes en este cereal y poder proporcionar alimento a 20.5 millones más de mexicanos.

Jalisco destaca por su aportación significativa a la producción nacional de este grano con un 14% del total. En el 2003, se cosecharon 618,600 hectáreas, mismas que produjeron 3'122,596 toneladas y un rendimiento promedio de 5.04 toneladas/hectárea [ton/ha] (INEGI 2004b). No obstante que el rendimiento medio estatal supera con 2.71 ton/ha al promedio nacional, existe evidencia técnica de que la producción se podría incrementar si algunos factores limitantes del cultivo se manejaran de manera conveniente entre los que se considera el combate del complejo de plagas rizófagas.

Sifuentes (1976) señaló que en México se reportan 56 especies de insectos y ácaros que atacan al maíz, desde la siembra, durante el desarrollo de la planta, en la cosecha y aún en el almacén. Ríos (1986) por su parte, indicó que las plagas que se alimentan de la raíz ocupan el segundo lugar en importancia en la República Mexicana. Félix y Reyes (1990) estimaron en 220,000 hectáreas la superficie infestada por estas plagas en Jalisco; sin embargo, en el estado sólo se protegen con insecticida alrededor de 155,000, mismas que representan solo el 22% del total de la superficie cosechada (A.M.I.P.F.A.C. 1994 y 1995).

Los objetivos para esta investigación fueron: a) Estimar la magnitud de las pérdidas causadas al cultivo del maíz, por el complejo de larvas rizófagas en el estado de Jalisco; b) Determinar el comportamiento de los daños en un periodo de 20 años, y c) Clasificar los municipios bajo estudio con base a la magnitud de las pérdidas en el rendimiento de grano en kilogramos/hectárea.

## Antecedentes

LeClerg (1970) indicó qué es posible obtener estimaciones de pérdidas en los cultivos causadas por plagas en una región o país, mediante el establecimiento de experimentos enfocados a la evaluación de daños y que con este tipo de estudios, es posible estratificar las áreas del cultivo de acuerdo a la severidad del ataque. Ese mismo autor señaló que las pérdidas causadas por plagas no son estáticas, y que en un lugar determinado, ambas cambian año por año. El mismo investigador dejó en claro que en la práctica no es posible obtener valores absolutos de pérdidas, sin embargo, se pueden hacer estimaciones mediante trabajos de campo conducidos y diseñados de manera adecuada. Para propósitos prácticos las estimaciones hasta con un 15% de margen de error pueden ser adecuadas. Este tipo de estudios deben ser conducidos cuando menos durante tres años en cada una de las localidades de

interés y se recomienda que la información sea actualizada al menos cada cinco años a causa de las innovaciones tecnológicas, los rápidos cambios de las prácticas culturales, la introducción de nuevas variedades y químicos agrícolas. Por otra parte, es común usar estimaciones cualitativas del daño (ligero, moderado, grave y severo), los que no son bastante precisos para definir la intensidad de una plaga, por lo cual, se deben establecer categorías numéricas o niveles de intensidad, definidos de forma experimental y deben usarse para caracterizar situaciones específicas.

El impacto que puede causar una plaga a un cultivo depende de factores físicos y biológicos, así como las interacciones de éstos con las prácticas de producción. DeWitt & Taylor (1981) establecen que la intensidad del daño causado por plagas del sistema radicular del maíz para un año dado, dependerá del número de larvas presentes, del tamaño del sistema radicular de la planta, de la disponibilidad de humedad y nutrimentos, de la capacidad de la planta para generar nuevas raíces y de las condiciones climáticas.

En México y en el estado de Jalisco en particular, no se conoce información publicada sobre este tema, sobre todo en lo referente a la interacción maíz-plagas rizófagas. Con base en otro tipo de estudios como la evaluación de la eficiencia biológica de insecticidas, el comportamiento de líneas y variedades al ataque de insectos y estudios de fechas de siembra, es como algunos investigadores han estimado la magnitud de los daños que causan las larvas que se alimentan de esa estructura orgánica. Los trabajos realizados no se han conducido en forma sistemática a través del tiempo y del espacio, lo cual solo ha permitido obtener información puntual o dispersa. Así, Sifuentes (op. cit.) señaló que en México las pérdidas causadas por las plagas del maíz bajo condiciones de campo son difíciles de cuantificar, ya que pueden variar de acuerdo a la localidad, variedad, y las condiciones ambientales entre otros.

Sifuentes (op.cit.), Díaz (1978) y Rodríguez (1978, 1980a y 1980b) cuando presentaron una síntesis de la situación del maíz con respecto a plagas a escala nacional, centro-occidente y norte de Tamaulipas, respectivamente, mencionaron porcentajes de pérdidas o kilogramos/hectárea que se pierden por el ataque de una plaga en áreas específicas.

Bautista (1978) dio a conocer que en Jalisco existe un complejo de plagas que afectan a los cultivos básicos que se manifestaba como un problema severo desde 1960 con una alta incidencia del gusano de alambre (Familia Elateridae) y la gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), con una diseminación amplia en grandes áreas del estado. El mismo autor indicó que en 1973 se detectó a las doradillas (*Diabrotica* spp.), y en 1975 a *Colaspis* spp. (Familia Chrysomelidae).

Entre las plagas que disminuyen la producción del maíz en Jalisco (Félix 1978) indicó que destacan las que se alimentan de la raíz, como: la diabrotica o alfilerillo (*Diabrotica* spp.); el esqueletonizador (*Colaspis* spp.); los gusanos de alambre y la gallina ciega.

Bautista (op. cit.) estimó que la presencia y distribución de estas plagas en Jalisco es de carácter endémico, ya que en 1977 la superficie infestada fue de 169,555 hectáreas de las cuales 47,111 fueron completamente destruidas; a su vez, Félix (op.cit.), mencionó que estos insectos se presentaron en los municipios de El Arenal, Amatitán, Tequila, San Martín Hidalgo, San Marcos, Aqualulco de Mercado, Ameca y Tala, y que el área infestada se ha incrementado en los últimos años, hasta cubrir casi todo el estado.

Como resultado de los trabajos que se presentaron en la primera mesa redonda sobre plagas del suelo a escala nacional, y que se llevó a cabo en el estado de Jalisco, en 1978, se estableció como prioridad la necesidad de efectuar estudios en las siguientes líneas de investigación: a) Estudios bio-ecológicos que permitan determinar la dispersión de las plagas del suelo, b)

Cuantificación de los daños causados por el mencionado complejo y c) Zonificación de las áreas dañadas (Sociedad Mexicana de Entomología 1978).

En 1990, Félix y Reyes estimaron en 220,000 hectáreas la superficie infestada por larvas rizófagas en Jalisco, las que encontraron, sobre todo, en las áreas de influencia de los distritos de Ameca, Ciudad Guzmán, La Barca y Zapopan.

Como resultado de múltiples ensayos de efectividad biológica efectuados en el cultivo del maíz contra el complejo de plagas rizófagas, efectuados en diferentes localidades de Jalisco y ciclos agrícolas, Castañeda et al. (1978), Alavés (1978), Ochoa (1979) y Ríos y Romero (1982) señalaron que las pérdidas fluctúan de un 25 a un 100% de la producción, lo que representa mermas en la producción de 300 hasta más de 2,000 kg/ha.

De la Paz (1993), al realizar un estudio por cinco años en Los Altos de Jalisco para determinar las pérdidas causadas al cultivo del maíz por el complejo de larvas rizófagas constituido por las doradillas (*Diabrotica* spp.), varios géneros y especies de gallinas ciegas, el esqueletonizador (*Colaspis* spp.), y el falso gusano de alambre (*Cebrio* sp.), encontró que los daños fueron diferentes de un año al otro, así como entre y dentro de las localidades ocurriendo las pérdidas más altas en la región húmeda. Las diferencias entre las parcelas tratadas y no tratadas variaron de 15 hasta 839 kg/ha con un promedio de 312.

Las pérdidas causadas a los cultivos por las plagas rizófagas cobran más relevancia si se considera que en México solamente se combaten en un 3% de la superficie de siembra (Von Eickstedt 1978), lo cual representa 245,000 hectáreas en todo el país, cuando sólo en Jalisco se sembraron ese año alrededor de 900,000 hectáreas.

## Materiales y métodos

Con la finalidad de obtener la mayor información posible generada en el estado de Jalisco sobre las pérdidas causadas al cultivo del maíz por el complejo de plagas rizófagas a través del tiempo, se consultaron documentos diversos como: evaluaciones de la eficiencia biológica de insecticidas, ensayos de líneas y variedades de maíz, estudios de fertilización, y muy pocos sobre estudios de daños, así como investigaciones publicadas e inéditas; en todas ellas se consideró el rendimiento de grano en kilogramos/hectárea, del mejor tratamiento químico y el del testigo sin aplicación.

Se localizaron 18 trabajos de tesis de Licenciatura de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Guadalajara; dos trabajos presentados en la 1ra. y 3ra. Mesa Redonda sobre Plagas del Suelo; 22 Resúmenes de Informes Anuales de Investigación y publicaciones especiales del INIA-INIFAP dados a la luz; 26 trabajos de informes de investigación del INIA-INIFAP, inéditos; y 13 reportes de investigación no publicados y sin la referencia completa, realizados por personal del INIA-INIFAP, lo cual hace un total de 81 obras consultadas.

Los datos obtenidos se agruparon por municipio y posteriormente se determinó la cantidad de experimentos establecidos por año, así como el número de años de observación.

En las localidades que se tuvieron más de dos experimentos, se determinaron los valores promedio de los tratamientos con protección química y el del testigo absoluto, su diferencia y el rango de pérdidas en kilogramos/hectárea.

Para los municipios en los que se tenían resultados de más de siete experimentos se llevó a cabo una prueba de "t". Así mismo, se procedió a agrupar los datos experimentales en tres categorías o niveles de pérdida del rendimiento de grano:

- 1) Pérdidas mayores a 1,000 kg/ha
- 2) Pérdidas de 500 a 1000 kg/ha
- 3) Pérdidas menores a 500 kg/ha

También se compararon desde el punto de vista estadístico las diferencias en el rendimiento considerando dos procedimientos de análisis de los datos. En el primero, se incluyeron los 157 experimentos, y en el segundo, los 33 municipios. Finalmente, se determinó el comportamiento de los tratamientos mencionados en los 20 años de estudio, complementándose con una representación gráfica y el análisis de regresión lineal de la variable pérdida de rendimiento de grano en kg/ha para explicar el comportamiento de los daños a través del tiempo (Steel y Torrie 1960).

## Resultados

De los 125 municipios que conforman a Jalisco, se encontró que se establecieron experimentos de evaluación de daños en 33 de ellos, que representan el 27% de los municipios del estado. En el cuadro 1, se presenta una relación de esos municipios. La mayor cantidad de ellos se ubicaron en la parte central del estado y en la región de los Altos (el 94% del total), en menor proporción en la zona Sur y la Costa (solo el 6%). Existe una gran variabilidad en cuanto al número de estudios establecidos en cada municipio pues varió de 1 a 25 y juntos hicieron un total de 157. El primer trabajo registrado fue en 1976 y los últimos en 1995, por lo que la información cubre un período de 20 años. El único municipio en donde todos los experimentos que se establecieron se hicieron en 6 años continuos (de 1980 a 1985) fue Tepatitlán; en Zapopan, El Arenal, y Ameca y Amatitán también se registraron periodos continuos de 8, 5 y 4 años, respectivamente. En El Arenal en el año 1988 se registró el mayor número de evaluaciones (5) en el mismo año.

Con base en el número de estudios, los municipios (cuadro 2) se conformaron en dos categorías; aquellos que tuvieran

más y menos de 7 observaciones. En el primer grupo quedaron 25 municipios (que representan el 76% del total estudiados) con menos de 6 trabajos; el segundo grupo, se constituyó solamente con 8 municipios (24%) que presentaron más de 7 experimentos. Sin embargo, cuando se consideró el número de ensayos en esos municipios, en el primer grupo se establecieron 56 evaluaciones que representaron únicamente el 36%; y en el segundo grupo, se tuvieron 101 experimentos que constituyen el 64%.

En el cuadro 3, se presenta el rendimiento de grano de maíz en kg/ha en el tratamiento con protección química, el testigo absoluto, su diferencia y los rangos de pérdidas en cada municipio. Las pérdidas más altas (3,170 kg/ha) correspondieron a Jamay, y las menores (156 kg/ha) a Lagos de Moreno; la diferencia entre ambas localidades fue de 3,014 kg/ha. El resto de los municipios presentaron niveles de pérdidas entre los límites anteriores, observándose que no necesariamente correspondían a municipios con buen rendimiento tener pérdidas altas (Ejemplo: Unión de Tula, Tlajomulco de Zúñiga, Antonio Escobedo y otros). Once municipios tuvieron una sola observación, por lo que no se reporta un rango de daños; los demás (22) presentaron una disminución en el rendimiento que fluctuó de 40 hasta 3,841 kg/ha.

Al comparar las diferencias en el rendimiento entre el tratamiento con protección y el testigo mediante la prueba de "t" en cada uno de los ocho municipios con al menos siete observaciones (Ameca, El Arenal, Zapopan, Amatitán, Cuquío, Tlajomulco de Zúñiga, Acatic y Tepatitlán de Morelos) (cuadro 4), se encontraron diferencias altamente significativas en todos los casos. Las pérdidas mayores a 1,000 kg/ha se registraron en Ameca, El Arenal y Zapopan; daños intermedios (entre 500 y 900) en Amatitán, Cuquío, Tlajomulco de Zúñiga y Acatic, y las más bajas (334) en Tepatitlán de Morelos.

Cuadro 1. Número de experimentos realizados, año de ejecución y total de años en cada uno de los 33 municipios muestreados

Municipios	Número de:		
	Experimentos	Años de estudio y frecuencia	Total de años
Acatic	7	80(2), 81(2),84, 85(2)	4
Ahualulco de Mercado	1	84	1
Amatitán	15	76,77,79,86(3),87(4),88(4),89	7
Ameca	14	79,80,83,84,85(2),86(2),89,90,91,92,95(2)	11
Antonio Escobedo	1	90	1
Arandas	4	84(2), 85(2)	2
Atenguillo	3	84,85(2)	2
Cuautitlán de García Barragán	3	87(2),88	2
Cuquiío	7	84,85(2),87(2),88,89	5
El Arenal	25	76,77,79,80,83,85(3),86(3),87(5),88(5),89(3),92(1)	11
El Grullo	1	78	1
Ixtlahuacán del Río	1	77	1
Jamay	1	94	1
Jocotepec	2	93	1
La Barca	2	91,95	2
Lagos de Moreno	2	80,84	2
La Huerta	4	78(2),85,91	3
Magdalena	5	80,84,85,86,87	5
Mixtlán	2	86,87	2
Ocotlán	2	91(2)	1
Poncitlán	1	85	1
San Marcos	1	91	1
San Martín Hidalgo	6	85, 87(2), 88,89,92	5
Sayula	1	85	1
Teocaltiche	3	80(2), 81	2
Tepatitlán de Morelos	11	80(2), 81,82(2), 83(2), 84, 85(3)	6
Tequila	3	84, 85, 87	3
Tlajomulco de Zúñiga	7	82,85,90,91(2),92(1),93	6
Tlaquepaque	1	85	1
Tototlán	1	94	1
Unión de Tula	1	77	1
Yahualica de González Gallo	4	80(2), 81(2)	2
Zapopan	15	80,81,82, 84(3),85(2), 86(1),87(2),88,89,90,91	11

Los municipios se agruparon en una de las tres categorías considerando el nivel de reducción en el rendimiento. El primer grupo incluyó a los municipios en donde los daños fueron superiores a los 1 000 kg/ha;

el segundo grupo, consideró mermas entre 500 y 1 000, y el tercero, pérdidas menores a 500.

Al conformar los grupos (cuadro 5) puede observarse que el número de

Cuadro 2. Relación de los municipios, del No. de experimentos establecidos; municipio y su porcentaje; el No. de experimentos y su porcentaje

Número de Municipios	Experimentos/ Municipio	Porcentaje de Municipios	Número de experimentos	Porcentaje de experimentos
11	1	33.33	11	7.01
5	2	15.15	10	6.37
4	3	12.12	12	7.64
3	4	9.09	12	7.64
1	5	3.03	5	3.18
1	6	3.03	6	3.82
<b>Subtotal 25</b>		<b>75.75</b>	<b>56</b>	<b>35.66</b>
3	7	9.09	21	13.37
1	11	3.03	11	7.01
1	14	3.03	14	8.92
2	15	6.06	30	19.11
1	25	3.03	25	15.93
<b>Subtotal 8</b>		<b>24.25</b>	<b>101</b>	<b>64.34</b>
<b>Total 33</b>		<b>100.00</b>	<b>157</b>	<b>100.00</b>

municipios y experimentos en los Grupos I y II fue muy similar, no así el Grupo III que mostró un número menor. Se encontraron diferencias altamente significativas en los tres grupos, siendo las pérdidas de 1 834, 710 y 290 kg/ha para los Grupos I, II y III, respectivamente.

Se compararon estadísticamente las diferencias del rendimiento entre los tratamientos con y sin protección de todas las localidades a través del tiempo (cuadro 6). Cuando se consideraron 157 experimentos se tuvo una diferencia de 976 kg/ha, y cuando se usaron los valores promedio de los 33 municipios, esta fue de 1 017 kg/ha. En ambos casos éstos valores fueron altamente significativos. Por último, al hacer la comparación de los promedios de las localidades a través de los 20 años de estudio (cuadro 7) se encontró una diferencia de 1 162 kg/ha que resultó altamente significativa.

En la figura 1, se muestra la respuesta del rendimiento de grano de maíz en kg/ha del tratamiento con protección química, del testigo absoluto y de su diferencia a través de los 20 años de observación. Puede

notarse que el comportamiento de los tratamientos fue dinámico durante el estudio, detectándose una ligera tendencia en el tratamiento con protección química y en las pérdidas a incrementarse en dos etapas o periodos (76-78 y 90-95).

Para investigar si el comportamiento de las pérdidas podría describirse por medio de una función, los datos obtenidos en 20 años se sometieron a un análisis de regresión lineal con diferentes modelos (simple, cuadrático, cúbico). La regresión simple no describió adecuadamente el fenómeno pues su coeficiente de determinación fue bajo ( $r^2 = 0.30$ ) no así, el coeficiente de variación que fue muy alto (C.V. = 48.5%). El modelo cuadrático tuvo un buen ajuste a los datos, describiendo en forma conveniente el fenómeno pues el valor de su coeficiente de determinación nos indica que explica un alto porcentaje del comportamiento de las pérdidas del rendimiento ( $r^2 = 0.74$ ), y el coeficiente de variación disminuyó en forma importante (C.V. = 30%).

En la figura 2, se muestra la representación gráfica del modelo cuadrático,

Cuadro 3. Relación del número de experimentos y municipios, el rendimiento de grano de maíz en kg/ha en los tratamientos con protección química, el testigo, su diferencia y rango de pérdida

No. de Experimentos	Municipio	Rendimiento Kg/ha			Parámetros de Pérdidas
		Con Protección	Testigo	Diferencia	
1	Jamay	6507	3337	3170	-
2	Jocotepec	4525	1434	3091	2456-3726
2	Ocotlán	4796	2182	2614	1562-3667
1	Ixtlahuacán del Río	7350	5050	2300	-
1	Tototlán	4680	2939	1741	-
2	La Barca	7194	5641	1552	1260-1845
14	Ameca	7593	3180	1413	118-3300
6	San Martín Hidalgo	5650	4141	1509	677-3186
1	Tlaquepaque	2562	1273	1289	-
25	El Arenal	3900	2638	1262	227-2967
3	Atenguillo	2639	1592	1047	684-1478
15	Zapopan	6093	5075	1018	138-3841
15	Amatitán	4636	3739	897	165-2150
1	Unión de Tula	5652	4832	820	-
7	Cuquío	3355	2539	816	286-1616
3	Tequila	1807	1029	778	68-1695
7	Tlajomulco de Zúñiga	5463	4705	758	144-1235
2	Mixtlán	1354	599	755	342-1167
1	Ahualulco de Mercado	1708	958	750	-
4	La Huerta	3347	2616	731	489-900
5	Magdalena	2719	2079	640	128-1476
1	El Grullo	4166	3542	624	-
3	Cuautitlán de García Barragán	2757	2172	585	337-768
7	Acatic	3996	3444	552	208-881
1	Antonio Escobedo	5430	4899	531	-
4	Arandas	2777	2367	409	279-634
4	Yahualica	3400	3016	384	40-756
1	San Marcos	6481	6128	353	-
11	Tepatitlán de Morelos	3492	3159	333	79-740
1	Poncitlán	2748	2419	329	-
3	Teocaltiche	894	719	179	65-329
1	Sayula	4486	4311	175	-
2	Lagos de Moreno	1886	1730	156	149-164

observándose que en los periodos 76-78 y 90-95 hay un incremento en las pérdidas, aunque esta tendencia es más acentuada en los últimos años, tal vez porque los datos proceden de localidades que se consideran

críticas por los daños graves que causan las plagas rizófagas como: Jamay, Jocotepec, Ocotlán, Tototlán, La Barca, Ameca, San Martín Hidalgo, etcétera.

Cuadro 4. Municipios con un mínimo de 7 experimentos, y la significancia estadística de la diferencia en kg/ha entre los tratamientos con y sin protección química, mediante la prueba de "t".

Municipio	No. de Experimentos	Rendimiento Kg/ha			Valor t	Probabilidad
		Con Protección	Testigo	Diferencia		
Ameca	14	4593	3180	1413	5.73	< .0001
El Arenal	25	3900	2638	1263	7.75	< .0001
Zapopan	15	6093	5075	1018	3.91	0.0016
Amatitán	15	4636	3739	897	6.15	< .0001
Cuquiú	7	3356	2539	817	4.95	0.0026
Tlajomulco	7	5463	4705	758	4.74	0.0032
Acatic	7	3996	3444	552	6.23	0.0008
Tepatitlán	11	3492	3159	334	6.17	0.0001

## Discusión

Aún cuando este estudio no fue diseñado en su origen con una metodología específica para hacer estimaciones de daños causados al cultivo del maíz por el complejo de plagas rizófagas en Jalisco como fue señalado por LeClerg (1970), se utilizó la información generada en 157 experimentos a través de 20 años en el estado de Jalisco. Por otra parte, LeClerg (op. cit.) señala que los trabajos de estimación de daños deben ser conducidos cuando menos por 3 años en las localidades seleccionadas, en esta investigación, los datos obtenidos fueron una compilación de información generada por muchos investigadores con propósitos diversos, de tal manera que el número de municipios con menos de 7 experimentos fue alto (25) y representan el 76% del total muestreado. El número de experimentos establecidos en dicha categoría sólo representó el 36%, lo que permitió conjuntar 101 experimentos en ocho municipios (representando el 64% del total) considerados como la base del estudio al presentar un mínimo de siete observaciones y un máximo de 25 por lo que se cumple con creces a lo señalado por ese investigador.

No obstante que LeClerg (op. cit.), indica que valores absolutos de pérdidas no

pueden ser obtenidos en la práctica, y que se pueden hacer estimaciones hasta con un 15% de margen de error para propósitos prácticos, bajo nuestras condiciones en donde existe una limitación crítica en investigaciones por limitaciones de recursos económicos y de personal, estudios como este con márgenes de error de un 30%, si bien no son tan finos, podrían considerarse como una primera aproximación que permite conocer y comprender mejor la problemática del complejo de plagas rizófagas en el estado de Jalisco.

También, ese autor señala que las pérdidas causadas por las plagas no son estáticas y que aquellas como éstas cambian de año en año en un lugar determinado, lo que se constató en esta investigación a dos niveles, el primero en las localidades en donde se establecieron experimentos en el mismo sitio durante varios años (únicamente en Tepatitlán de Morelos, Tlajomulco de Zúñiga y Zapopan), y en el segundo nivel, cuando se consideró el promedio de todas las localidades a través del tiempo, se observó que las pérdidas van cambiando año por año, mostrando una tendencia a incrementarse.

Por otro lado, es muy importante considerar que la cantidad de experimentos y el número de localidades estudiadas en los últimos cuatro años (de 1992 a 1995) fue

Cuadro 5. Agrupamiento de los municipios en categorías, considerando tres niveles de pérdidas (I) > 1 000; II) >500 <1 000, y III) <500 kg/ha), y su significancia estadística mediante la prueba de "t".

Grupo	Municipios	Número		Rendimiento kg/ha		
		Municipios	Experimentos	Con protección	Testigo	Diferencia
I	Jamay, Jocotepec, Ocotlán, Ixtlahuacán del Río, La Barca, Ameca, Tototlán, San Martín Hidalgo, Tlaquepaque, El Arenal, Atenguillo, Zapopan	12	73	5041	3207	1834
II	Amatitán, Unión de Tula, Cuquío, Tequila, Tlajomulco de Zúñiga, Mixtlán, Ahualulco de Mercado, La Huerta, Magdalena, El Grullo, Cuautitlán de García Barragán, Acatic, Antonio Escobedo	13	57	3568	2858	710
III	Arandas, Yahualica de González Gallo, San Marcos, Tepatitlán de Morelos, Poncitlán, Teocaltiche, Sayula, Lagos de Moreno.	8	27	3271	2981	290

Cuadro 6. Comparación estadística de la diferencia en rendimiento de grano de maíz en kg/ha entre el tratamiento con protección química y el testigo, considerando dos procedimientos de análisis. En el primero se incluyeron todos los experimentos considerados; en el segundo, se consideraron los trabajos efectuados por municipio

No. Municipios	No. de Experimentos	Rendimiento kg/ha			Valor "t"	Probabilidad
		Con Protección	Testigo	Diferencia		
33	157	4153	3177	976	14.95	< .0001
33	33	4032	3015	1017	7.36	< .0001

bajo en comparación al periodo de 1980-1991, siendo la tendencia a través del tiempo a disminuir, por lo que difícilmente se contará con información nueva y suficiente que permita actualizar la información generada en este estudio, contraviniendo a lo señalado por LeClerg

(op. cit.), respecto a que la información debe ser actualizada cuando menos cada cinco años o quizás a intervalos de tiempo más cortos, a causa de las innovaciones tecnológicas, la introducción de nuevas variedades, químicos agrícolas y los cambios rápidos de las prácticas culturales.

Cuadro 7. Comparación estadística de la diferencia en el rendimiento de grano de maíz en kg/ha en el tratamiento con protección química y el testigo, considerando un periodo de 20 años (1976-1995).

Años de observ.	No. de observ.	Rendimiento kg/ha			Valor "t"	Probabilidad
		Con Protección	Testigo	Diferencia		
1976-1995	20	4558	3396	1162	7.92	< .0001

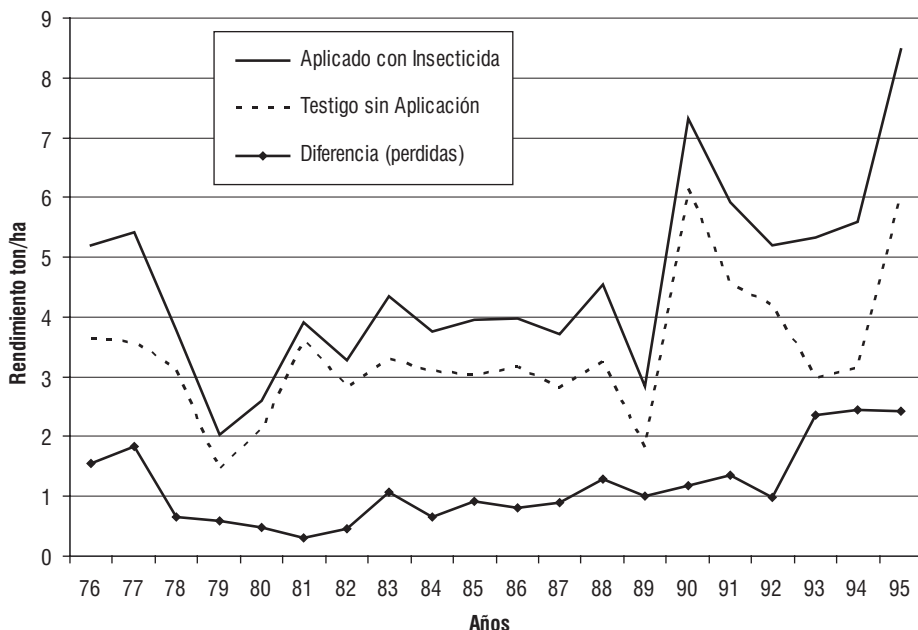


Figura 1. Serie histórica de los datos de los tratamientos: protegido con insecticida contra el complejo de plagas rizófagas, el testigo sin aplicación y la diferencia en kg/ha en grano de maíz, en un periodo de 20 años, en el estado de Jalisco.

Bautista (op. cit.) y Félix y Reyes (op. cit.) al señalar que en Jalisco la superficie infestada por el complejo de plagas rizófagas fue de 169,555 y 220,000 ha, respectivamente, y Félix (op. cit.) al mencionar que estos insectos están presentes sobre todo en los municipios de: El Arenal, Amatitán, Tequila, San Martín Hidalgo, San Marcos, Ahualulco de Mercado, Ameca y Tala; y Félix y Reyes (op. cit.), al indicar que las áreas de influencia de estas plagas son los distritos de Ameca, Ciudad Guzmán (Zapotlán el Grande), La Barca y Zapopan no fueron precisos para indicar el impacto de las plagas, por lo que

fue conveniente definir niveles de intensidad en categorías numéricas para poder estratificar las áreas de cultivo de acuerdo a la severidad del ataque como lo marcó LeClerg (op. cit.) lo cual se obtuvo en este estudio al determinarse, por cuestiones prácticas, tres categorías o niveles de intensidad de la plaga en función de su impacto en el rendimiento de grano como ya se indicó arriba. Estos resultados también coinciden con lo mencionado por Dewitt & Taylor (1981) quienes señalaron que el impacto que puede causar una plaga rizófaga al maíz depende de factores físicos y biológicos, así como las interacciones de estos con las prácticas de producción.

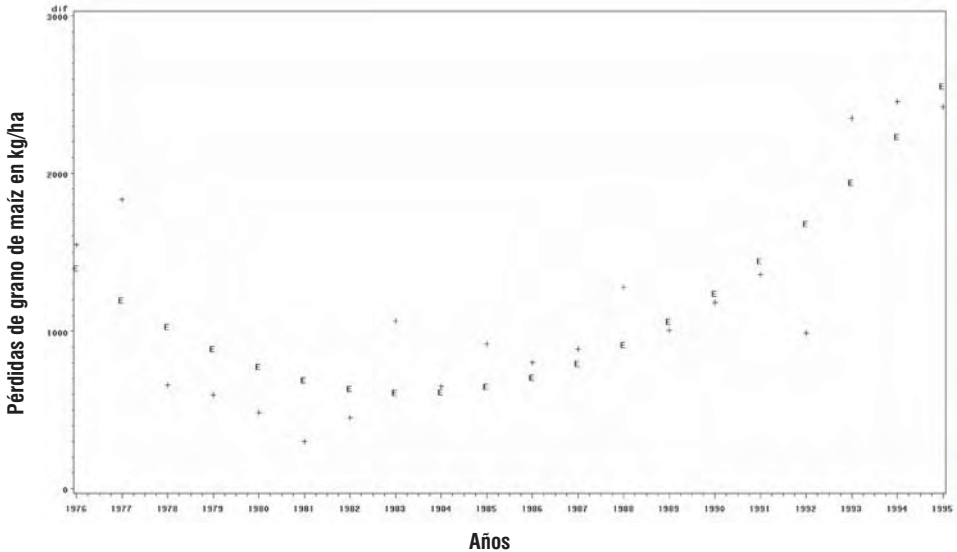


Figura 2. Representación gráfica del comportamiento de las pérdidas de grano de maíz en kg/ha a través de los 20 años de estudio, y de las estimadas por el modelo de regresión  $y = a + bx^2$ .

De esta forma, los municipios que quedaron considerados de alto riesgo (Grupo I) son: Jamay, Jocotepec, Ocotlán, Ixtlahuacán del Río, Tototlán, La Barca, Ameca, San Martín Hidalgo, Tlaquepaque, El Arenal, Atenguillo y Zapopan. En el Grupo II o nivel de pérdidas intermedias: Amatitán, Unión de Tula, Cuquio, Tequila, Tlajomulco de Zúñiga, Mixtlán, Ahualulco de Mercado, La Huerta, Magdalena, El Grullo, Cuautitlán de García Barragán, Acatic y Antonio Escobedo. Y el Grupo III, considerado de bajo riesgo: Arandas, Yahualica de González Gallo, San Marcos, Tepatlán de Morelos, Poncitlán, Teocaltiche, Sayula y Lagos de Moreno.

Después de 27 años de efectuada la propuesta en la primera Mesa Redonda de Plagas de Suelo, de realizar estudios sobre la cuantificación de daños causados por el complejo de plagas rizófagas y la zonificación de la áreas dañadas en Jalisco (Soc. Mex. de Entomología, 1978), se tiene una primera aproximación que mejora en forma sustantiva la perspectiva que se tenía de este problema en donde la información se presentaba en forma parcial y disgregada, y

si bien, se pudiera tener alguna limitación o deficiencia en lo que respecta al número de experimentos, localidades o años, se utilizó la información obtenida para darle un enfoque práctico.

Por último, al dimensionar el problema que representa el complejo de plagas rizófagas en el estado, estimado en pérdidas de 976 kg/ha/año, dan una idea de su magnitud y hace imperativo la implementación de programas de capacitación a productores y asesores oficiales y de empresas particulares para que se establezcan medidas que permitan coexistir en forma armónica con estas plagas.

## Conclusiones

Que de acuerdo al análisis de la información colectada en un período de tiempo de 20 años y en 33 municipios de Jalisco, se logró estimar las pérdidas en el rendimiento de grano del maíz causadas por el complejo de plagas rizófagas.

Que el modelo de regresión cuadrático fue útil para describir de manera adecuada el comportamiento de las

pérdidas del rendimiento de grano en el período de estudio.

Que de acuerdo con la información analizada, se detectó que los daños causados por estas plagas al cultivo son dinámicos y muestran una tendencia a incrementarse a través del tiempo.

## Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento a dos revisores anónimos por sus observaciones y sugerencias y a Servando Carvajal por la corrección del estilo.

## Literatura citada

- Alavés R., J. F.** 1978. Aplicación de insecticidas al suelo contra *Colaspis* sp. en maíz en la Costa de Jalisco. *Mesa redonda plagas del suelo*. Memoria. Sociedad Mexicana de Entomología. Guadalajara, Jalisco. Pp. 39-44.
- A.M.I.P.F.A.C.** 1994. Mercado de Plaguicidas (por producto) totalizando por cultivos. Pp. 2 y 3.
- A.M.I.P.F.A.C.** 1995. Mercado de Plaguicidas (por producto) totalizando por cultivos. Pp. 2 y 3.
- Anónimo.** 1996. *Almanaque mundial*. Diccionario geográfico. Editorial Samra, S.A. de C.V. México D.F. Pág. 50.
- Bautista M., J.** 1978. Importancia económica de las plagas del suelo en el estado de Jalisco. *Mesa redonda plagas del suelo*. Memoria. Sociedad Mexicana de Entomología. Guadalajara, Jalisco. Pp. 53-60.
- Castañeda C., C. A.; D. Oropeza C.; J. F. Villalpando I. y J. A. Sifuentes.** 1978. Control químico de *Diabrotica longicornis* plaga del suelo en la región central de Jalisco. *Mesa redonda plagas del suelo*. Memoria. Sociedad Mexicana de Entomología. Guadalajara, Jalisco. Pp. 27-38.
- De la Paz G., S.** 1993. *Plagas del maíz, del frijol y de la asociación maíz-frijol en los Altos de Jalisco*. Libro Técnico N° 1. C. E. Altos de Jalisco. CIPAC. INIFAP. SARH. México. 89 pp.
- Dewitt, J. & E. S. Taylor.** 1981. *Integrated pest management decision guide*. Iowa State University, Cooperative Extension Services. IPM- 22.
- Díaz C., G.** 1978. Plagas del maíz en el centro y occidente de México. SARH. INIA. México. Folleto Misceláneo N° 39. 20 p.
- Félix F., E.** 1978. El control de las principales plagas del suelo en maíz en el estado de Jalisco. *Mesa redonda plagas del suelo*. Memorias. Sociedad Mexicana de Entomología. Guadalajara, Jalisco. Pp. 45-52.
- Félix F., E. y J. Reyes R.** 1990. *Plagas rizófagas de cultivos básicos en Jalisco*. SARH. Jefatura del Programa de Sanidad Vegetal. CREDIF. México, Guadalajara, Jalisco. Boletín técnico. 21 pp.
- INEGI.** 1988. *Abasto y comercialización de productos básicos. Maíz*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. SCFI. Pronal. Conasupo. SISVAN. Aguascalientes, Ags., México. Pp. 1-20.
- INEGI.** 1989. *México en el mundo*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. SCFI. Pronal. Conasupo. SISVAN. Aguascalientes, Ags., México, DF. Pág. 50.
- INEGI.** 2002. *Anuario de Estadística por Entidad Federativa*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México. Pp. 378, 380, 382 y 593.
- INEGI.** 2004a. *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Pp. 336-340 y 363.
- INEGI.** 2004b. *El Sector Alimentario en México*. Serie de estadísticas sectoriales. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Pp. 34, 35, 220 y 231.
- LeClerg, E. L.** 1970. Field Experiments for assessment of crop losses. In: *Crop loss assessment methods*; FAO manual on the evaluation and prevention of losses by pests, diseases and weeds. 2.1/14 p.
- Morón, M. A.** 1986. *El Género Phyllophaga en México*. Morfología, distribución y sistemática supraespecífica (Insecta: Coleóptera). Publicación del Instituto Nacional de Ecología. N° 20. 341 pp.
- Ochoa R., E.** 1979. *Comparación y evaluación de 6 insecticidas al suelo para el control de Diabrotica spp. y Colaspis spp. (Fam. Chrysomelidae) en el cultivo de maíz en Tequila, Jalisco*. Tesis profesional Ing. Agr. Guadalajara, Jalisco, México. Esc. de Agricultura. U. de G. Pp. 38-40.
- Pérez D., J. F. y R. Álvarez Z.** 2003. Influencia de factores ambientales sobre el

- desarrollo y la fluctuación poblacional de gallina ciega (*Phyllophaga* spp. y *Cyclocephala* spp.) (Coleoptera: Melolonthidae) y gusano alfilerillo *Diabrotica virgifera zea* (Coleoptera: Chrysomelidae) en el Centro de Jalisco. Pp. 231. En: Aragón, G.A.; M.A. Morón; A. Marín J. (ED). *Estudios sobre coleópteros del suelo en América*. Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Ríos R., F. y S. Romero.** 1982. Importancia de los daños al maíz por insectos del suelo en el estado de Jalisco, México (Coleoptera). *Folia Entomológica Mexicana* 52: 41-60.
- Ríos R., F.** 1986. Manejo integrado de problemas fitosanitarios del maíz en México. *Memorias del XII Simposio Nacional de Parasitología Agrícola*. Pp. 274-285 y 438.
- Rodríguez del Bosque, L. A.** 1978. *Claves de campo para identificación de plagas del maíz y su combate*. Norte de Tamaulipas. SARH. INIA. CIAGON. CAERIB. Circular CIAGON 6/78. 31 pp.
- Rodríguez del Bosque, L. A.** 1980a. *Determinación de la oportunidad de aplicación de insecticida contra la gallina ciega en maíz*. CAERIB, 1979b. Informe Técnico de la Coordinación Nacional del Apoyo Entomológico. (Zona Norte). SARH. INIA. México. Pp. 379-384.
- Rodríguez del Bosque, L. A.** 1980b. *Aplicación de Carbofuran a la semilla de maíz para prevenir el daño por plagas del suelo*. CAERIB, 1979b. Informe Técnico de la Coordinación Nacional del Apoyo Entomológico. (Zona Norte). SARH. INIA. México. Pp. 362-368.
- Sifuentes A., J. A.** 1976. *Plagas del maíz en México y algunas consideraciones sobre su control*. SAG. INIA. México. Folleto de Divulgación. N° 58. 21 pp.
- Sociedad Mexicana de Entomología.** 1978. Conclusiones y sugerencias de la mesa redonda sobre plagas del suelo. *Mesa redonda plagas del suelo. Memoria*. Sociedad Mexicana de Entomología. Guadalajara, Jalisco. Pp. 79 y 80.
- Steel R., G. D. y J. H. Torrie.** 1960. *Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences*. New York, McGraw-Hill. 481 pp.
- Von Eickstedt, H.** 1978. Producción de maíz en E.U.A. Combate de plagas del suelo y rendimientos promedio. *Mesa redonda plagas del suelo. Memoria*. Sociedad Mexicana de Entomología. Guadalajara, Jalisco. Pp. 21-26.

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN

29 DE JUNIO DE 2007

# Control del crecimiento y producción de fumonisinas por *Fusarium verticillioides* usando butilhidroxianisol bajo diferentes condiciones de actividad de agua

Rosa Marina Figueroa-Gómez<sup>1</sup>, María Marta Reynoso<sup>2</sup>, Waldina Patricia Reyes-Velázquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Salud Pública, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara. Km 15.5 Carretera a Nogales. Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México.

<sup>2</sup>Departamento de Microbiología e Inmunología, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional 36, Km 601 (5800) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Correo electrónico: waldinar@cucba.ud.mx

**Resumen:** El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del antioxidante butilhidroxianisol (BHA) sobre la fase lag (latencia), la velocidad de crecimiento y la producción de fumonisinas por *Fusarium verticillioides*, en el medio agar harina de maíz a 25 °C y bajo diferentes condiciones de actividad de agua ( $a_w$ ). El antioxidante BHA tuvo un efecto sobre las características de crecimiento y la producción de fumonisinas. Sin embargo, dicho efecto estuvo en función de la dosis utilizada y de la  $a_w$  evaluada. La fase lag (horas) y la velocidad de crecimiento decreció de manera significativa a 5 y 10 mM l<sup>-1</sup>, en función del nivel de  $a_w$  ensayada. La producción de fumonisinas fue superior en el nivel de 0.995 de  $a_w$ , mientras que a niveles de 0.97 y 0.95 la producción disminuyó un 60 y 80%, respectivamente. Los tratamientos con antioxidante BHA inhibieron por completo la producción de fumonisinas en concentraciones de 5 y 10 mM l<sup>-1</sup>, independiente de la  $a_w$ . Los resultados sugieren que el antioxidante BHA tiene potencial para controlar el crecimiento y la producción de fumonisinas por *F. verticillioides* bajo diferentes condiciones de disponibilidad de agua en el medio de cultivo agar harina de maíz.

**Palabras clave:** actividad de agua, antioxidante, crecimiento, fumonisinas, *Fusarium verticillioides*, maíz.

**Abstract:** The goal of this study was to evaluate the effect of antioxidant butylated hydroxyanisole (BHA) on the lag phase (latent) prior to growth, the growth rate and the fumonisin production by *Fusarium verticillioides* on maize-based media at 25 °C and under different water activity ( $a_w$ ) conditions. The antioxidant BHA had an effect on growth characteristics and on fumonisin production. However, this was dependent on the dose used and on the  $a_w$  treatment. The lag phase (hours) prior to growth and the growth rates were significantly decreased by BHA at 5 and 10 mM l<sup>-1</sup>, in terms of the  $a_w$  level tested. Total fumonisin production was higher at 0.995  $a_w$ , whereas at 0.97 and 0.95  $a_w$  it decreased by about 60 and 80% respectively. In the presence of the antioxidant treatments, BHA completely inhibited fumonisin production, regardless of  $a_w$ , at concentrations of 5 and 10 mM l<sup>-1</sup>. These results suggest that this antioxidant has potential for growth control and fumonisin production by *F. verticillioides* under different conditions of water availability in a maize-based media culture.

**Key words:** water activity, antioxidant, growth, fumonisins, *Fusarium verticillioides*, maize.

## Introducción

*Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg. (sinónimo: *F. moniliforme* Sheldon; teleomorfo: *Gibberella fujikuroi*, población de apareamiento A, se encuentra asociado con maíz y bajo condiciones favorables, es capaz de causar enfermedades en plántulas, podredumbre del tallo, raíz y mazorca (Nelson 1992). La podredumbre de la mazorca constituye un problema en todo el mundo, lo que ocasiona reducción en los rendimientos y acumulación de diferentes metabolitos tóxicos, como las fumonisinas, que convierten a los granos en inadecuados para el consumo humano y animal (Scott et al. 1985; Chelkowski et al. 1987; Bukovcakova et al. 1991; Perkowski et al. 1991a, 1991b).

Las fumonisinas son un contaminante natural de maíz (Munkvold y Desjardins 1997) y se relacionan con el cáncer esofágico en Sudáfrica (Rheeder et al. 1992), son responsables de la leucoencefalomalacia equina (Kellerman et al. 1990) y del edema pulmonar porcino (Harrison et al. 1990). Algunos estudios recientes muestran correlación entre el consumo de tortillas contaminadas con fumonisinas y defectos del tubo neural en humanos (Stack, 1998; Placinta et al. 1999), por lo que la FDA (Food and Drug Administration) establece límites recomendados para su contenido en alimentos destinados al consumo humano y animal. Por ejemplo, los productos de maíz molido seco (harina de maíz, sémola, hojuelas, pasta y gluten de maíz) no deben contener más de  $2 \mu\text{g g}^{-1}$ , mientras que los alimentos a base de maíz destinados al consumo de caballos no deben exceder los  $5 \text{ g g}^{-1}$ .

En la actualidad se tienen pocos reportes sobre la incidencia de fumonisinas en el maíz cosechado en México para el consumo de animales y humanos. En Oaxaca se reportaron niveles de  $0.67$  a  $13.3 \mu\text{g g}^{-1}$  y en Sonora de  $0.5$  a  $6.8 \mu\text{g g}^{-1}$  (Rosiles et al. 1998; Cortez-Rocha et al. 2003), mientras que en Jalisco los niveles no superaron los  $0.8 \mu\text{g g}^{-1}$  (Figueroa-Gómez et al. 2005).

Se desarrollan estudios para evaluar numerosas estrategias que permitan reducir la incidencia de *Fusarium verticillioides* y el contenido de fumonisinas en maíz. Algunas de ellas son: el uso de cultivares menos susceptibles a la producción de micotoxinas, el control de insectos y malezas, y las prácticas de los cultivos. Cualquiera que sea la estrategia empleada, se debe considerar las tres fases de producción: pre-cosecha, cosecha y pos-cosecha, con objeto de minimizar los riesgos en la salud de los consumidores, tanto humanos como animales (King y Scott 1981; Teich y Nelson 1984; Shelby et al. 1994; Doko et al. 1995; Shetty y Bhat 1997; D'Mello et al. 1998).

El uso de antioxidantes, tales como, butilhidroxianisol (BHA) y propilparabeno (PP) demostraron algunos efectos sobre la germinación de conidios, crecimiento y producción de micotoxinas de especies aflatoxicogénicas de *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus* (Thompson 1991, 1992). Además, Thompson (1994) y Thompson et al. (1993) mostraron que dichos antioxidantes redujeron de manera significativa el porcentaje de germinación de conidios de especies de *Fusarium* y *Penicillium*. Por otro lado, Nesci et al. (2003) encontraron que concentraciones altas de BHA y PP ( $10$ - $20 \text{ mmol l}^{-1}$ ) inhiben el crecimiento y la germinación de especies de *Aspergillus* a niveles de  $a_w$  (actividad de agua) de  $0.982$  y  $0.937$ . Estudios in vitro e in situ demostraron que dichos antioxidantes controlaron el crecimiento y producción de fumonisinas por *F. verticillioides* y *F. proliferatum* en diferentes condiciones de temperatura y  $a_w$  (Etcheverry et al. 2002; Reynoso et al. 2002; Torres et al. 2003).

El objetivo de este estudio fue determinar la eficiencia del antioxidante butilhidroxianisol (BHA) bajo diferentes condiciones de disponibilidad de agua y en el medio agar harina de maíz sobre (i) la fase lag; (ii) la velocidad de crecimiento y (iii) la producción de fumonisinas (FBs) de una cepa de *Fusarium verticillioides* aislada de maíz producido en México.

## Materiales y métodos

### CEPA FÚNGICA

En todos los tratamientos evaluados se utilizó la cepa de *Fusarium verticillioides* (UDG-271) aislada de un híbrido de maíz (Alsa 036W), cosechado en parcelas experimentales del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (Zapopan, Jalisco) durante la cosecha agrícola 2003. Dicha cepa se eligió por ser alta productora de FBs ( $4,900 \text{ ng g}^{-1}$ ) (Figuroa-Gómez et al. 2006), la cual se conserva en la colección de cultivos del Departamento de Salud Pública, Laboratorio de Residuos Tóxicos II, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.

### ANTIOXIDANTE, PREPARACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO E INOCULACIÓN

El antioxidante butilhidroxianisol (BHA) se obtuvo de Sigma Chemical (Poole, Dorset). La solución stock fue preparada en alcohol etílico al 95%. El BHA se usó a concentraciones de 0.5, 1.0, 5.0 y  $10 \text{ mmol l}^{-1}$ .

El medio de cultivo agar harina de maíz (AHM, 2% w/v) se utilizó para evaluar la capacidad fungicida del antioxidante BHA. La  $a_w$  del medio de cultivo se ajustó a 0.995, 0.97 y 0.955 por la adición de una cantidad adecuada de glicerol previo a la esterilización del mismo (Marín et al. 1995). El medio de cultivo se esterilizó en autoclave a  $120^\circ\text{C}$  durante 20 minutos. Las soluciones del antioxidante BHA se agregaron al medio luego de esterilizarlo para obtener las concentraciones requeridas. Los tratamientos que se evaluaron fueron los siguientes: control sin antioxidante, control de alcohol etílico al 95% y las cuatro concentraciones del antioxidante BHA. Se realizaron cuatro repeticiones de cada uno de los tratamientos.

La  $a_w$  de los diferentes tratamientos fue confirmada con un medidor de actividad de agua, Aqualab Series 3 (Labcell, Basigstoke) una vez que los medios de cultivos solidificaron. Luego, se conserva-

ron a  $4^\circ\text{C}$  durante 48 horas para permitir que alcancen el equilibrio deseado.

Las placas de AHM de los diferentes tratamientos se inocularon centralmente con un disco de micelio de 8 mm de la cepa *F. verticillioides* ensayada, tomado del margen de un cultivo de 7 días de la cepa desarrollada en el medio agar hojas de clavel (AHC) y se incubaron a  $25^\circ\text{C}$  en la oscuridad. Las placas con la misma  $a_w$  se colocaron en bolsas de plástico con objeto de mantener una humedad relativa constante a lo largo del período de incubación (28 días).

### DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO RADIAL

La velocidad de crecimiento radial se determinó a través de la medición diaria del diámetro de las colonias en el medio de cultivo en cada tratamiento, dicha lectura se efectuó en dos direcciones hasta que la misma llegó a los márgenes de la placa (alrededor de 15 días). Los radios de las colonias desarrolladas en el medio AHM en cada tratamiento se graficaron versus el tiempo, y la velocidad de crecimiento micelial ( $\text{mm d}^{-1}$ ) se determinó por regresión lineal para cada uno de los tratamientos y repeticiones de acuerdo con Marín et al. (1996). La fase de latencia se obtuvo por extrapolación de dicha recta al eje x. Al final del período de incubación (28 días) se analizó el contenido de fumonisinas en todos los tratamientos evaluados.

### ANÁLISIS DE FUMONISINAS

A partir de cada uno de los tratamientos se tomaron 20 gramos de medio de cultivo y se extrajeron las fumonisinas con 50 mL de acetonitrilo : agua (1:1, v/v). La cuantificación se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Shephard et al. (1990) modificada por Doko et al. (1995). Una alícuota de 50  $\mu\text{L}$  de cada extracto se derivatizó adicionándole 200  $\mu\text{L}$  de una solución de O-ptaldialdehído (OPA, Sigma Chemical, Poole, Dorset). Las fumonisinas derivatizadas (20  $\mu\text{L}$  de la solución) se

analizaron mediante un sistema de detección de fluorescencia/HPLC fase reversa. Las separaciones cromatográficas se llevaron a cabo en una columna de fase reversa de C<sub>18</sub> (150 × 4.6 mm, 5 μm de tamaño de partícula; Supelcosil LC-ABZ, Supelco) conectada a una precolumna Supelguard LC-ABZ (20 × 4.6 mm, 5 μm de tamaño de partícula, Supelco). Como fase móvil se usó metanol-fosfato de sodio dihidrogenado 0.1 M (3:1, v/v), el pH de la solución se ajustó a 3.35 con ácido ortofosfórico. El flujo de la fase móvil fue de 1.5 mL min<sup>-1</sup>. Los rangos de excitación y emisión que se utilizaron fueron 335 y 440 nm.

Las soluciones testigos se prepararon disolviendo FB<sub>1</sub> y FB<sub>2</sub> puras adquiridas de SIGMA Chemical (Poole, Dorset) en acetonitrilo : agua (1:1, v/v) en concentraciones de 10, 5 y 2.5 para FB<sub>1</sub> y de 1.25, 2.5 y 5 g ml<sup>-1</sup> para FB<sub>2</sub>. La cuantificación de las toxinas se basó en la comparación de las alturas de los picos de las diferentes muestras con la altura de los picos de las soluciones testigos de referencia. Los tiempos de retención típicos para FB<sub>1</sub> y FB<sub>2</sub> fueron 3.1 y 6.6 minutos.

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de regresión lineal de la velocidad de crecimiento (radio de la colonia) se realizó utilizando el programa Microsoft Office Excel (2003). Para

analizar el efecto del antioxidante BHA a las diferentes concentraciones sobre la fase lag, velocidad de crecimiento e inhibición de la producción de fumonisinas de la cepa de *Fusarium verticillioides* UDG 271 a distintos niveles de a<sub>w</sub>, se usó el programa estadístico Sigma Stat Versión 2.03 para Windows 95 y NT. En todos los casos se realizó la prueba de Tukey a fin de determinar si existían diferencias estadísticas (P < 0.050) entre los tratamientos evaluados.

#### Resultados

En el cuadro 1 se muestra el efecto de los diferentes tratamientos evaluados sobre la fase lag (horas) y la velocidad de crecimiento (mm d<sup>-1</sup>) de la cepa *Fusarium verticillioides* UDG 271 a distintos niveles de a<sub>w</sub>. En el tratamiento control hubo un incremento en la fase lag a medida que la a<sub>w</sub> decreció. El incremento en la dosis de BHA de 0.5 a 1.0 mM l<sup>-1</sup> aumentó la fase lag de 33 a 57 horas a una a<sub>w</sub> = 0.995, y de 28 a 89 horas a una a<sub>w</sub> = 0.95. No se observó crecimiento durante los 28 días de incubación en las concentraciones más altas de BHA (5 y 10 mM l<sup>-1</sup>).

En el tratamiento control y en el que se le adicionó sólo alcohol etílico al 95%, *Fusarium verticillioides* mostró similar velocidad de crecimiento, de 12.1, 7.7 y 5.3 mm d<sup>-1</sup> y 11.1, 6.7 y 5.1 mm d<sup>-1</sup>, respectivamente a niveles de a<sub>w</sub> de 0.995, 0.975 y

Cuadro 1. Efecto del antioxidante butilhidroxianisol (BHA) y la actividad de agua (a<sub>w</sub>) sobre la velocidad de crecimiento y la fase lag de *Fusarium verticillioides* UDG 271 cultivado en agar harina de maíz a 25 °C.

Tratamientos	Concentración (mmol l <sup>-1</sup> )	Fase lag (h)			Velocidad de crecimiento (mm d <sup>-1</sup> )		
		Actividad de agua (a <sub>w</sub> )			Actividad de agua (a <sub>w</sub> )		
		0.995	0.97	0.955	0.995	0.97	0.955
Control		7a	9a	10a	12.1a	7.7a	5.3a
EtOH 95%		9a	12a	15a	11.8a	7.5a	5.1a
BHA	0.5	33b	23b	28b	4.7b	2.9b	1.7b
BHA	1.0	57c	67c	89c	2.4c	1.7c	0.8c
BHA	5.0	-	-	-	-	-	-
BHA	10.0	-	-	-	-	-	-

Las literales indican diferencia estadística significativa (P < 0.050), prueba de Tukey.

Cuadro 2. Efecto del antioxidante butilhidroxianisol (BHA) y la actividad de agua ( $a_w$ ) sobre la producción de fumonisinas por la cepa *Fusarium verticillioides* UDG 271 sobre agar harina de maíz a 25 °C.

Tratamiento	Concentración de fumonisinas totales ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) Media $\pm$ S.D.		
	0.995 $a_w$	0.97 $a_w$	0.955 $a_w$
Control	29.2 $\pm$ 3.6a	9.7 $\pm$ 2.0a	5.6 $\pm$ 0.2a
EtOH 95%	29.7 $\pm$ 5.2a	10.6 $\pm$ 2.1a	5.5 $\pm$ 0.2a
BHA 0.5 mmol l <sup>-1</sup>	6.8 $\pm$ 0.5b	4.7 $\pm$ 0.1b	3.9 $\pm$ 0.1b
BHA 1 mmol l <sup>-1</sup>	5.5 $\pm$ 0.4c	2.8 $\pm$ 0.2c	2.2 $\pm$ 0.3c
BHA 5 mmol l <sup>-1</sup>	nd	nd	nd
BHA 10 mmol l <sup>-1</sup>	nd	nd	nd

nd: no detectado. S.D.: desviación estándar. Las literales indican diferencia estadística significativa ( $P < 0.050$ ), prueba de Tukey.

0.955. En las concentraciones de 0.5 y 1.0 mM l<sup>-1</sup>, la velocidad de crecimiento mostró disminución marcada en todas las  $a_w$  evaluadas cuando se comparó con el tratamiento control (cuadro 1).

El efecto del antioxidante BHA a diferentes  $a_w$  a 25 ° C sobre la inhibición de la producción de fumonisinas por la cepa *Fusarium verticillioides* UDG 271 se muestra en el cuadro 2. El nivel de  $a_w$  óptimo para la producción de la micotoxina fue 0.995, mientras que a niveles de 0.97 y 0.955 la producción disminuyó un 60 y 80%, respectivamente.

En el tratamiento control y en el que se le adicionó sólo alcohol etílico al 95% mostraron similar producción de fumonisinas en todos los niveles de  $a_w$  evaluados, mientras que el antioxidante BHA inhibió por completo la producción de dicha micotoxina en concentraciones de 5 y 10 mmol l<sup>-1</sup>, independiente de la  $a_w$ .

A una  $a_w = 0.955$  los niveles de fumonisinas producidos por la cepa de *F. verticillioides* fueron muy bajos y variaron entre 2.2 y 5.6  $\mu\text{g g}^{-1}$ . En el presente estudio en los tratamientos control y al que se le adicionó sólo alcohol etílico al 95% a 0.995 y 0.97 de  $a_w$ , la cepa en estudio produjo FB<sub>1</sub> y FB<sub>2</sub>, mientras que en los tratamientos restantes sólo produjo FB<sub>1</sub>.

## Discusión

Los resultados del presente estudio muestran que existe un gran potencial para el control del crecimiento y producción de fumonisinas por *Fusarium verticillioides* con el uso del antioxidante BHA bajo un amplio rango de  $a_w$  y en condiciones in vitro. Las concentraciones de BHA = 5 mM l<sup>-1</sup> inhibieron por completo el crecimiento fúngico en todos los valores de  $a_w$  evaluados así como la producción de fumonisinas. Debido a que este antioxidante se utiliza en la industria alimenticia, podría tener aplicaciones útiles en los diferentes materiales destinados al procesamiento de alimentos para consumo humano.

La fase lag (horas) incrementó en forma significativa en presencia de las diferentes concentraciones de BHA y niveles de  $a_w$ . Marín et al. (1996) encontraron que a medida que disminuía la  $a_w$  y la temperatura desde condiciones óptimas a marginales para el crecimiento de *Fusarium verticillioides* y *F. proliferatum*, la fase lag aumentaba.

Estudios previos con diferentes antioxidantes, muestran que el BHA y el propilparabeno (PP) en diferentes concentraciones (1-20 mM l<sup>-1</sup>) y a dos temperaturas (18 y 25 °C) fueron efectivos para controlar el crecimiento y la producción de fumonisinas de cepas de

*Fusarium verticillioides* y *F. proliferatum* a diferentes  $a_w$  y sobre agar harina de maíz o maíz irradiado (Etcheverry et al. 2002; Torres et al. 2003). Reynoso et al. (2002) mostraron que concentraciones bajas (0.5 y 1.0 mmol l<sup>-1</sup>) de los antioxidantes BHA y PP, solos o combinados con otros antioxidantes, pueden ser más efectivas que concentraciones altas.

Thompson et al. (1993) encontraron que el BHA y PP a 200 µg ml<sup>-1</sup> reducía de manera significativa la germinación de la cepas de *Fusarium verticillioides* productoras de moniliformina sobre agar papa glucosado (PDA). Una inhibición completa del crecimiento micelial sobre dicho medio de cultivo se obtuvo con concentraciones de 250 µg ml<sup>-1</sup> de BHA y 500 µg ml<sup>-1</sup> de PP.

Los estudios que realizaron Marín et al. (1999, 2000) muestran que el ácido propiónico al 0.07%, al nivel comercial recomendado, tuvo algunos efectos sobre el crecimiento pero no sobre la producción de fumonisinas por cepas de *Fusarium verticillioides*. Mientras que, para *F. proliferatum*, la concentración de dicha micotoxina disminuyó poco a medida que aumentaba la concentración de dicho ácido en granos de maíz natural e irradiado.

La información obtenida en el presente estudio sugiere que el antioxidante BHA controla el crecimiento y la producción de FBs en una cepa de *Fusarium verticillioides* a diferentes niveles de  $a_w$ . Sin embargo, el control efectivo del crecimiento no necesariamente implica la inhibición de la producción de metabolitos secundarios. En esta investigación, en todos los tratamientos que se evaluaron se observó una reducción y no una estimulación en la producción de fumonisinas a medida que la concentración del BHA aumentó, lo cual indica que como respuesta al estrés hídrico se produciría más micotoxina (Torres et al. 2003).

Hasta el momento, la información sobre el mecanismo de acción de los antioxidantes sobre las especies de *Fusarium* es limitada. Por ejemplo, Adams y Moss (1995) muestran que el BHA y el PP

actuarían sobre la membrana celular, afectando la traducción de energía y el transporte de sustratos. Sin embargo, por la razón de que las enzimas hidrolíticas son críticas para la colonización de los cereales por especies de *Fusarium* (Marín et al. 1998) cualquier efecto de los antioxidantes se manifestaría por cambios en la producción de dichas enzimas. Torres et al. (2003) demostraron una reducción significativa de la actividad de ciertas enzimas involucradas en facilitar la colonización de los granos cuando las cepas de *F. verticillioides* y *F. proliferatum* se encontraban en presencia del antioxidante PP, solo o en combinación con otros antioxidantes (butilhidroxianisol y butilhidroxitolueno).

Los resultados de esta investigación muestran que el antioxidante BHA puede considerarse un fungicida eficiente para *F. verticillioides* aislado de maíz mexicano en las condiciones de  $a_w$  ensayadas.

## Agradecimientos

El trabajo fue financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos Estratégicos de Investigación (PROPESTI No. 7388274) de la Universidad de Guadalajara. Colaborando investigadores del Cuerpo Académico «Calidad e Inocuidad de los Alimentos BCA 06», del Departamento de Salud Pública. Se agradece el apoyo brindado por el Cuerpo Académico UDG-CA 54 denominado «Producción y Tecnología de semillas», Departamento de Producción Agrícola. La presente investigación fue posible gracias a la valiosa colaboración de la Dra. M. M. Reynoso, durante la estancia en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, como Profesor Investigador Huésped del Departamento de Salud Pública. A dos revisores anónimos sus comentarios para mejorar este documento.

## Literatura citada

Adams, M. R. and M. O. Moss. 1995. *Food Microbiology* Cambridge UK: The Royal Society of Chemistry.

- Bukovcakova, M., A. Scorobarova y Y. Vozar.** 1991. Zearalenona production in wheat cultivars infected with the fungus *Fusarium graminearum* Schwabe. *Mycotoxin Res.* 7: 84-90.
- Chelkowski, J., H. Kwasna, P. Zajkowski, A. Visconti and A. Bottalico.** 1987. *Fusarium sporotrichioides* Sherb. and trichotecenes associated with *Fusarium*-ear rot of corn before harvest. *Mycotoxin Res.* 3: 111-113.
- Cortez-Rocha, M. O., W. R. Ramírez-Asrudillo, R. I. Sanchez-Mariñez, E. C. Rosas-Burgos, F. J. Wong-Corral, J. Borboa-Flores, L. G. Castellón-Campaña & M. Tequida-Meneses.** 2003. Fumonisin and fungal species in corn from Sonora, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 70: 668-673.
- D'Mello, J. P. F., A. M. C. Macdonald, D. Postel, W. T. P. Dijikma, A. Dujardin and P. M. Placinta.** 1998. Pesticide use and mycotoxin production in *Fusarium* and *Aspergillus* phytopathogens. *Eur. J. Plant Pathol.* 104: 741-751
- Doko, B., S. Rapior, A. Visconti and J. Schjoth.** 1995. Incidence and levels of fumonisins contamination in maize genotypes grown in Europe and Africa. *J. Agric. Food Chem* 43: 429-434.
- Etcheverry, M., A. Torres, M. L. Ramírez, S. Chulze and N. Magan.** 2002. In vitro control of growth and fumonisin production by *F. verticillioides* and *F. proliferatum* using antioxidants under different water availability and temperature regimes. *J. Appl. Microb.* 92: 624-632.
- Figuroa-Gómez, R. M., M. M. Reynoso, P. Landeros-Ramírez, E. Castro-Sambrano y W. Reyes-Velázquez.** 2005. Incidencia de especies de *Fusarium* (sección *Liseola*) y fumonisinas en maíz cultivado en el estado de Jalisco. *Memorias del V Congreso del Noroeste, I Nacional en Ciencias Alimentarias y Biotecnología*, Hermosillo, Sonora, México, 7 al 12 noviembre de 2005.
- Figuroa-Gómez, R. M., M. M. Reynoso, C. E. Castro-Zambrano and W. P. Reyes-Velázquez.** 2006. Estudio de las poblaciones de *Fusarium* (sección *Liseola*) aisladas de híbridos de maíz cultivados en México. *Scientia-CUCBA* 8(2): 181-190.
- Harrison, L. R., B. M. Colvin, I. T. Greene, L. E. Newman and J. R. Cole.** 1990. Pulmonary edema and hydrothorax in swine produced by fumonisins B<sub>1</sub>, a toxic metabolite of *Fusarium moniliforme*. *J. Vet. Diagn. Invest.* 2: 217-221.
- Kellerman, T. S., W. F. O. Marasas, P. G. Thiel, W. C. A. Gelderblom, M. Cawood and J. A. W. Coetzer.** 1990. Leucoencephalomalacia in two horses induced by oral dosing of fumonisin B<sub>1</sub>. *J. Vet. Res.* 57: 269-275.
- King, S. B. and G. E. Scott.** 1981. Genotypic differences in maize kernel infection by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology* 71: 1245-1247.
- Marín, S., V. Sanchis and N. Magan.** 1995. Water activity, temperature and pH effects on growth of *Fusarium moniliforme* and *F. proliferatum* isolates from maize. *C. J. Microbiol* 41: 1063-1070.
- Marín, S., V. Sanchis, R. Teixido, D. Saenz, A. J. Ramos and N. Magan.** 1996. Water activity and temperature relationship and microconidial germination of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum* from maize. *Can. J. Food Microb.* 42: 1045-1050.
- Marín, S., V. Sanchis, A. J. Ramos and N. Magan.** 1998. Effect of water activity on hydrolytic enzyme production by *Fusarium moniliforme* and *proliferatum* during colonization of maize. *Intern. J. Food Microb.* 42: 185-194.
- Munkvold, G. A. and A. E. Desjardins.** 1997. Fumonisin in maize: Can we reduce their occurrence. *Plant Dis.* 81: 566-565
- Nelson, P. E.** 1992. Taxonomy and biology of *Fusarium moniliforme*. *Mycopathologia* 117: 29-36.
- Nesci, A., M. Rodríguez and M. Etcheverry.** 2003. Control of *Aspergillus* growth and aflatoxin production using antioxidants at different conditions of water activity and pH. *J. Appl. Microbiol.* 95: 279-287.
- Perkowski, J., J. Chelkowski, P. Blazezak, O. Snijders and W. Wakulinski.** 1991a. A study of correlations between the amount of deoxynivalenol in grain of wheat and percentage of *Fusarium* damage kernels. *Mycotoxin Res.* 7: 102-115.
- Perkowski, J., J. Chelkowski, R. D. Plattner and P. Gohnsk.** 1991b. Accumulation of mycotoxins in maize cobs infected with *Fusarium graminearum*. *Mycotoxin Res.* 7: 115-121.
- Placinta, C. M., J. P. F. D'Mello and A. M. C. Macdonald.** 1999. A review of

- worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Animal Feed Sci. Technol.* **78**: 21–37.
- Reynoso, M. M., A. Torres, M. Ramírez, M. I. Rodríguez, S. Chulze and N. Magan.** 2002. Efficacy of antioxidant mixtures on growth fumonisin production and hydrolytic enzyme production by *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* in vitro on maize-based media. *Mycol. Res.* **106**: 1093–1099.
- Rheeder, J. P., W. F. O. Marasas, P. G. Thiel, E. W. Sydenham, G. S. Shephard and D. J. Van Schalwyk.** 1992. *Fusarium moniliforme* and fumonisins in corn in relation to human esophageal cancer in Tanskei. *Phytopathology* **82**: 353–357.
- Rosiles M., R., J., Bautista, V. O. Fuentes and F. Ross.** 1998. An outbreak of equine leukoencephalomalacia at Oaxaca, Mexico, associated with fumonisin B1. *J. Vet. Med. A.* **45**: 299–322.
- Scott, P., H. Trenholm and M. Sutton.** 1985. Mycotoxins: a Canadian perspective. Ottawa. *Nat. Res. Corencil.* **55**: 367–372.
- Shelby, R. S., D. G. White and E. M. Bauske.** 1994. Differential fumonisin production in maize hybrids. *Plant Dis.* **78**: 582–584.
- Shephard, G. S., E. W. Sydenham, P. G. Thiel and W. C. A. Gelderblom.** 1990. Quantitative determination of fumonisins B1 and B2 by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *J. Liq. Chromatogr.* **13**: 2077–2080.
- Stack, M. E.** 1998. Analysis of fumonisin B1 and its hydrolysis product in tortillas. *J. Anal. Chem.* **81**: 737–740.
- Teich, A. H. and K. Nelson.** 1984. Survey of *Fusarium* head blight and possible effects of cultural practices in wheat fields in Lambton country in 1983. *Can. Plants Dis.* **64**: 11–13.
- Thompson, D. P.** 1991. Effect of butylated hydroxyanisole on conidial germination of toxigenic species of *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus*. *Mycologia* **54**: 375–377.
- Thompson, D. P.** 1992. Inhibition of mycelial growth of mycotoxigenic fungi by phenolic antioxidants. *Mycologia* **84**: 791–793.
- Thompson, D. P.** 1994. Minimum inhibitory concentrations of esters of p-hydroxybenzoic acid (paraben) combinations against toxicogenic fungi. *J. Food Prot.* **57**: 133–135.
- Thompson, D. P., L. Matervia and T. Vessel.** 1993. Influence of pH alone and in combination with phenolic antioxidants on growth and germination of mycotoxigenic species of *Fusarium* and *Penicillium*. *J. Food Prot.* **56**: 134–138.
- Torres, A. M., M. L. Ramírez, M. Arroyo, S. N. Chulze and N. Magan.** 2003. Potential use of antioxidants for control of growth and fumonisin production by *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on whole maize grain. *Intern J. Food Microb.* **83**: 319–324.

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN

29 DE JUNIO DE 2007

# Aptitud combinatoria de líneas de maíz QPM de dos grupos heteróticos del CIMMYT en la búsqueda de híbridos de cruza simple para la zona tropical y subtropical de México

**Salvador Mena Munguía, Mario Abel García Vázquez, J. Jesús Sánchez González, Florencio Recendiz Hurtado, José Ron Parra, Norberto Carrizales Mejía y Rogelio Lepiz Ildelfonso**

Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 45110, Zapopan, Jalisco, México.

**Resumen:** El consumo humano de maíz en México es de cerca de 150 kg per capita, sin embargo aproximadamente 31.2% de la población padece desnutrición, por lo tanto es importante incrementar la calidad nutricional de el grano de maíz a través de alternativas como el gen opaco-2 modificado ó QPM a la vez que se puedan desarrollar híbridos con alto rendimiento para las áreas tropicales y subtropicales de México. Los objetivos del presente trabajo fueron i) determinar la ACG de 14 líneas QPM tropicales de CIMMYT y ii) encontrar las mejores cruza simples a través de su aptitud combinatoria específica. Se utilizaron dos grupos de líneas provenientes del Centro Internacional de mejoramiento en maíz y trigo (CIMMYT); 5 del grupo heterotico "A" y 9 del grupo heterotico "AB", el diseño II de Carolina del Norte se usó para definir su ACG, las cruza para el diseño se sembraron en un diseño bloques al azar con dos repeticiones en 6 localidades (3 en México, 1 en Guatemala, 1 en la India y 1 en Colombia) en el ciclo agrícola 2002B. Se aplicó análisis de varianza combinado a través de 6 localidades mediante el paquete estadístico SAS considerando ambientes y repeticiones como efectos aleatorios y los genotipos como efectos fijos. Hay 10 cruza simples con rendimiento similar a los mejores testigos de grano normal a través de las localidades de prueba. Se encontraron 2 líneas con alta ACG; la línea 1 con 0.538 y la línea 11 con 0.717 que pueden ser usadas en programas de formación de híbridos QPM. Las mejores cruza simples pueden ser usadas como híbridos per-se o estimar las mejores cruza dobles.

**Abstract:** Human consumption of maize in Mexico is about 150 kg-per capita; however, approximately 31.2% of the population suffers from malnutrition. Hence, it may be important to increase the nutritional quality of the maize grain by means of a cross strategy such as using opaco-2 modified gene or QPM (quality protein maize), while at the same time increasing the yield of high hybrids in tropical and subtropical regions in Mexico. The objectives of this study were: 1) to determine the general combinatorial ability (GCA) of 14 CIMMYT tropical QPM lines and 2) to detect the best single crosses for specific combinatorial ability (GCE): Two line groups originating from the International Center of Maize and Wheat Improvement (CIMMYT) were utilized: five from the heterotic group "A", and nine from the heterotic group "AB". North Carolina's Design II was used to determine its ACG. In the agricultural cycle 2002-B, the crosses for design were sown in random blocks with two repeats in six locations (3 in Mexico, 1 in Guatemala, 1 in India and 1 in Colombia). An analysis of the combined variance was made for the six locations by means of the SAS statistical program, considering environment and repeats as random effects and genotypes as fixed effects. There are 10 single crosses with the same yield as the best grain across the test locations. Two lines were identified with a high GCA, line 1 with 0.538 and line 11 with 0.717, and can be used for QPM hybrid performance programs. The best single crosses can be used as hybrids per se or to estimate the best double crosses.

## Introducción

El consumo per cápita de maíz en México es de 150 kg al año y si a esto se agrega que 31.2 millones de Mexicanos sufren de desnutrición que va desde moderada hasta severa (SAGARPA 1999), por lo cual es necesario mejorar la calidad nutricional de los alimentos que consume. Por tanto, la formación de híbridos de maíz de alta calidad de proteína QPM con buen rendimiento y características deseables para las regiones tropicales y subtropicales de México permitirá sustituir gradualmente a las variedades actuales de maíz.

Para lograr lo anterior es menester contar con híbridos de maíz QPM de buen rendimiento y adaptación a las zonas tropicales y subtropicales de México mismos que es factible obtener a partir de los grupos heteróticos de líneas identificadas por el CIMMYT. El proceso contempla estimar la aptitud combinatoria general de las 14 líneas de maíz QPM seleccionadas para ser usadas como progenitores de los híbridos deseables e identificar las mejores cruza simples de maíz QPM por medio de la aptitud combinatoria específica, se parte de dos hipótesis; que existe diferencia para los efectos de aptitud combinatoria general entre las líneas de maíz evaluadas, así como para los efectos de aptitud combinatoria específica en las cruza simples formadas y que es factible seleccionar híbridos de maíz

con alta calidad de proteína, rendimiento de grano y características agronómicas superiores a los testigos regionales en diferentes ambientes, mediante la metodología utilizada.

Mertz y col. (1963) consignan que el maíz de alta calidad de proteína ó QPM (por sus siglas en inglés; Quality Protein Maize) tiene su origen en el descubrimiento del denominado maíz Opaco-2 (O<sub>2</sub>), mutante de endospermo que se correlaciona con el incremento en los niveles de Lisina y Triptófano.

Duddley y colaboradores (1977) explican que el esquema empleado para la incorporación de los genes modificadores a maíces con alto contenido de proteína fue la selección interpoblacional por endospermo duro en poblaciones convertidas a opaco-2, posteriormente, por medio de selecciones adicionales, sistematizadas y monitoreadas de laboratorio se logró obtener una frecuencia estable de genes modificadores que no afectan al gen opaco-2, finalmente esta estrategia permitió obtener familias de apariencia cristalina aceptable de acuerdo con su contenido de proteína y triptófano.

Por otro lado, la aptitud combinatoria se define como "el comportamiento relativo de líneas ó variedades usadas como progenitores" (Allard 1975, Brauer 1981 y Robles 1982). Este comportamiento puede ser específico ó general. El primero se evalúa por la capacidad de rendimiento de cada una de las cruza así como por el

Cuadro 1. Líneas que integran los grupos heteróticos participantes en el estudio.

Líneas del grupo heterótico "A"	Líneas del grupo heterótico "AB"
L1. (CML147 x CL-RCW01)-B-4-1	L8. (CLQ-6203 x CL-04321)-B-10-1
L2. (CML147x CL-RCW01)-B-10-2	L9. (CLQ-6203 x CL-04321)-B-15-1
L3. (CML147x CL-RCW01)-B-39-1	L10. (CLQ-6203 x CL-04321)-B-18-1
L4. (CML147xCL-RCW01)-B-61-2	L11. (CLQ-6203 x CL-04321)-B-21-1
L5. (CML173 x CL-RCW01)-B-15-3	L12. (CLQ-6203 x CL-04321)-B-23-1
	L13. (CLQ-6203 x CL-04321)-B-24-1
	L14. (CLQ-6203 x CL-04321)-B-26-3
	L15. (CLQ-6203 x CL-04321)-B-7-1
	L16. (CLQ-6203 x CL-04374)-B-7-2

potencial de cada combinación híbrida en particular. Y el segundo se mide por el promedio de rendimiento de una línea o variedad al aparearse con varias otras.

Sprague y Tatum (1942) clasifican dicha aptitud en general y específica y establecen que el término de aptitud combinatoria general (ACG) se usa para designar el comportamiento promedio de una línea en diferentes combinaciones híbridas, mientras que el término de aptitud combinatoria específica (ACE) es para aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones son relativamente mejores o peores de lo que se esperaría en el comportamiento promedio de las líneas involucradas.

## Materiales y métodos

El material genético que se utilizó en el presente trabajo fue proporcionado por el Centro Internacional de Mejoramiento en Maíz y Trigo (CIMMYT) y consistió en dos grupos de líneas pertenecientes a grupos heteróticos complementarios, las líneas fueron derivadas a partir de la generación F<sub>2</sub> de cruza entre líneas elite QPM × líneas elite normales.

En el cuadro 1 se enlistan las líneas derivadas por reciclaje, por selección genealógica y elegidas para el presente trabajo.

Las cruza simples formadas mediante el diseño genético II se evaluaron

en seis localidades (tres en México; Veracruz, Puebla, Jalisco y tres en otros países; Turipana en Colombia, Cuyutla en Guatemala y Nueva Delhi en la India) (P/V 2002-2002). Se evaluaron las variables; rendimiento de grano, altura de planta y mazorca, días a floración masculina y femenina, mazorcas por planta y asincronía de la floración (ASI). La estimación de los efectos de aptitud combinatoria general y específica se realizó de acuerdo a lo establecido por Comstock y Robinson (1948) donde los componentes de la varianza observables ( $\delta^2_m$ ,  $\delta^2_h$  y  $\delta^2_{mh}$ ) se determinan mediante la siembra de las progenies en diseño experimental y en función de los cuadrados medios esperados, tal como se muestra en el cuadro 2. El modelo de análisis de varianza es con efectos aleatorios para machos y hembras.

## Resultados y discusión

En el cuadro 3 se presenta el análisis de varianza combinado de los seis experimentos, para las ocho variables, ahí se puede apreciar un nivel alto de significancia para las diferencias entre las cruza probadas, en cuatro de las variables de estudio, lo cual confirma las diferencias genéticas entre cruza. Los ambientes presentaron diferencia significativa para todas las variables estudiadas en siete de ellas al nivel de 1%. En lo que concierne a la interacción cruza × ambientes solo el

Cuadro 2. Análisis de varianza del diseño II de Carolina del Norte en una localidad.

Fuente de variación	G.L.	C. M.	Esperanza de C. M.
Repeticiones	(r-1)		
Machos	(m-1)	M <sub>4</sub>	$\delta^2 + r \delta^2_{fm} + rf \delta^2_m$
Hembras	(f-1)	M <sub>3</sub>	$\delta^2 + r \delta^2_{fm} + rm \delta^2_f$
Machos x Hembras	(m-1)(f-1)	M <sub>2</sub>	$\delta^2 + r \delta^2_{fm}$
Error	(r-1)(mf-1)	M <sub>1</sub>	$\delta^2$
Total	(rmf-1)		

r, m y f se refieren al número de repeticiones, machos y hembras, respectivamente.

$\delta^2_{mf}$  = varianza de machos × hembras;  $\delta^2_m$  = varianza de machos;  $\delta^2_f$  = varianza de hembras y  $\delta^2$  = varianza del error combinado.

Cuadro 3. Cuadrados medios del ANOVA combinado para cada una de las variables de estudio a través de seis localidades, primavera-verano 2002.

F.V.	REND	AP	AM	FM	FF	M/P	ASI
Cruzas	3.1 **	868.5 **	1701.4 **	8.0 **	8.4 NS	0.12 NS	1.15 NS
Repeticiones	8.7 **	4113.1 **	1625.7 NS	16.4 *	35.9 **	0.11 NS	5.47 **
Ambientes	137 **	151134 **	74133 **	3618 **	4482 **	0.22 *	94.4 **
A × C	1.5 **	190.2 NS	1391.7 NS	2.2 **	1.6 NS	0.10 NS	0.91 NS
C. V.	19.5	6.0	34.9	2.1	2.2	31.5	8.6

F.V. = Fuente de Variación; REND = Rendimiento de grano; AP = Altura de planta; AM = Altura de mazorca; FM = Días a floración masculina; FF = Días a floración femenina; M/P = Mazorcas por planta; ASI = Asincronía de la floración; \* = Significativo al 5%; \*\* = Significativo al 1%; NS = No Significativo.

rendimiento de grano y los días a floración masculina exhibieron diferencias significativas al 1%.

Al aplicarse la prueba de comparación múltiple de medias (DMS al 5 %) para identificar las mejores cruzas para la variable rendimiento de grano (cuadro 4) permitió definir un grupo de 18 cruzas como las más destacadas, la lista incluye 8 testigos y 10 cruzas que forman parte del Diseño II.

La cruz (L1 × L11) fue la que mostró el rendimiento de grano más alto (6.77 ton/ha), pero fue estadísticamente, igual al resto del grupo. Cabe destacar que la línea 11, y la línea 1 participan en tres y cuatro de las mejores diez cruzas, respectivamente.

Al analizar las medias de las características agronómicas de los mejores tratamientos para rendimiento de grano (cuadro 4) se advierte que la cruz con el rendimiento más alto (L1 × L11) presenta características agronómicas adecuadas como la coincidencia en ambos tipos de días a floración, un porte regular, buena relación número de mazorcas/planta y bajo porcentaje de acame (4.4).

Cuando se efectúa el análisis de varianza combinado de las seis localidades para rendimiento de grano de acuerdo al diseño II de Carolina del Norte (cuadro 5) se puede observar que existen diferencias altamente significativas entre los ambientes de prueba lo que aparentemente se debe a las condiciones ambientales y mal manejo

de las localidades de Colombia y Guatemala, en relación al resto de las localidades.

Las hembras resultaron con diferencias altamente significativas lo que significa que es factible encontrar diferencias en los efectos de aptitud combinatoria general de las líneas que actuaron como hembras a través de localidades, lo mismo sucede con los machos que también presentan diferencias altamente significativas al comparar su comportamiento. En el caso de la interacción hembras × machos (H × M) las diferencias entre las cruzas resultaron no significativas por lo que se espera no encontrar efectos importantes de aptitud combinatoria específica en los cruzamientos formados de acuerdo al diseño II de Carolina del Norte.

Al analizar el comportamiento de las líneas del grupo heterótico "A" que se presentan en el cuadro 6 se aprecia que la que exhibe los valores más altos de aptitud combinatoria general (ACG) son la línea 1 (L1) en tres de los ensayos; Agua Blanca, Pue. (1.07), La Huerta, Jal. (0.57) y Cuyutla, Guatemala (0.70) lo que la convierte en la más consistente a través de los ensayos, enseguida la línea 2 (L2) que presenta el valor más alto y significativo en el ensayo de Nueva Delhi, La India (0.83); también es importante destacar el comportamiento de la línea 4 que obtuvo el valor de ACG más alto (no significativo) en los ensayos de Cotaxtla, Ver. (0.36) y de Turipana,

Cuadro 4. Medias de las características agronómicas de las mejores cruzas para rendimiento de grano a través de seis localidades según la prueba de DMS al 5 % en el ciclo primavera-verano 2002.

Cruza	Rend t/ha	FloMas días	FloFem días	AltPI cm	AltMz cm	#Mz/#PI	Acame %
L1 × L11	6.77	55	55	233	115	0.98	4.4
CML 448 × CML 449	6.63	53	53	220	103	1.03	6.8
L2 × L11	6.61	56	56	237	113	0.97	9.5
Testigo local # 1	6.58	55	56	215	111	0.96	12.6
L4 × L11	6.44	54	55	232	108	0.98	1.5
L1 × L14	6.42	54	54	221	105	0.99	5.7
L1 × L9	6.40	54	55	223	108	1.00	11.4
B53 × L11	6.39	55	55	238	116	0.94	12.6
L1 × L15	6.38	54	54	227	109	0.97	18.1
L2 × L10	6.33	55	56	230	114	1.02	3.5
B27 × L10	6.30	55	56	224	112	0.97	16.1
B27 × L14	6.25	56	56	224	113	0.95	14.3
B27 × L9	6.19	54	55	225	108	0.95	16.1
L2 × L9	6.19	56	56	228	107	0.98	4.0
B53 × L13	6.17	53	54	228	106	0.96	8.5
L4 × L10	6.15	55	55	221	104	1.00	0.9
B27 × L15	6.13	55	56	233	112	0.93	19.2
L4 × L13	6.12	55	55	235	106	1.04	1.8
Valor de DMS	0.69	0.8	0.7	7.3	21.2	0.1	10.4

Cuadro 5. Análisis de varianza del Diseño II de Carolina del Norte combinado a través de seis localidades en el ciclo primavera-verano 2002.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	P>F
AMB	5	866.40	173.28	92.15	.001
Rep (AMB)	6	46.56	7.76	4.13	.001
Hembras	8	57.81	7.22	3.84	.001
Machos	4	93.29	23.32	12.40	.001
H × M	32	73.94	2.31	1.23	.193
AMB × H	40	106.55	2.66	1.42	.058
AMB × M	20	59.43	2.97	1.58	.057
AMB × H × M	160	349.45	2.18	1.16	.142
Error	264	496.44	1.88		
Total	539	2149.88			

C. V. = 19.77

Cuadro 6. Valores de aptitud combinatoria general por localidad (grupo heterótico "A"), ciclo 2002 B.

	Ver	Pue	Jal	Ind	Col	Gua
<b>L1</b>	0.09	1.07*	0.57*	0.17	0.61	0.70*
<b>L2</b>	0.07	0.19	0.29	0.83*	-0.36	0.14
<b>L3</b>	-0.07	-0.95*	-0.81*	-0.44*	0.31	-0.53
<b>L4</b>	0.36	0.59	0.25	-0.16	0.61	-0.20
<b>L5</b>	-0.46*	-0.90*	-0.31	-0.40*	-0.88*	-0.09

\* = efecto de aptitud combinatoria general diferente de cero ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 7. Valores de aptitud combinatoria general por localidad (grupo heterótico "AB"), ciclo 2002 B.

	Ver	Pue	Jal	Ind	Col	Gua
<b>L8</b>	-0.73*	-0.11	-0.50	-0.17	-0.83	0.72
<b>L9</b>	0.63*	-0.80	-0.08	-0.26	-0.13	0.22
<b>L10</b>	-0.44	0.86	0.24	0.41	-0.20	0.02
<b>L11</b>	0.65*	1.16*	1.03	-0.05	0.49	1.02*
<b>L12</b>	0.13	-0.51	-0.07	0.27	0.22	-0.17
<b>L13</b>	0.23	0.41	0.33	0.34	-0.49	-1.07*
<b>L14</b>	0.17	-0.30	-0.23	-0.03	1.37*	0.28
<b>L15</b>	-0.83*	0.20	-0.08	-0.17	0.29	-0.25
<b>L16</b>	-0.20	-0.91	-0.63*	-0.36	-0.69	-0.77

\* = efecto de aptitud combinatoria general diferente de cero ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 8. Rendimiento de grano de las cruzas, promedio de rendimiento de grano de las líneas y valores de aptitud combinatoria general, a través de seis localidades ciclo 2002 B.

	L1	L2	L3	L4	L5	Med	A.C.G.
<b>L8</b>	5.15	6.01	5.08	5.96	4.97	5.43	-0.272
<b>L9</b>	6.40	6.19	5.53	5.59	4.57	5.65	-0.073
<b>L10</b>	6.07	6.34	5.42	6.15	5.24	5.84	0.148
<b>L11</b>	6.77	6.61	5.61	6.44	5.82	6.25	0.717*
<b>L12</b>	6.04	5.74	5.25	6.01	5.22	5.65	-0.022
<b>L13</b>	5.93	5.62	5.99	6.12	5.00	5.73	0.040
<b>L14</b>	6.42	5.80	4.92	5.88	5.66	5.74	0.212
<b>L15</b>	6.38	5.89	4.66	5.36	5.22	5.50	-0.139
<b>L16</b>	5.81	5.04	5.19	5.27	4.39	5.14	-0.530*
<b>Med</b>	6.11	5.91	5.29	5.86	5.12		
<b>ACG</b>	0.538*	0.195	-0.468*	0.243	-0.508*		

\* = efecto de aptitud combinatoria general diferente de cero ( $p < 0.05$ ).

Colombia (0.61). Se puede concluir que las líneas con tendencia a mejor ACG son las líneas 1 y 2, lo que permite confirmar la primera hipótesis planteada en este trabajo.

Al revisar la misma información para las líneas del grupo heterótico "AB", cuadro 7 destaca por su comportamiento la línea 11 (L11) que es la que alcanza los valores de aptitud combinatoria general más altos en 5 de las 6 localidades de evaluación; la localidad 1 (0.51), la localidad 2 (0.85), la localidad 3 (0.91), la localidad 5 (0.50) y la localidad 6 (0.71). De igual forma destaca en su comportamiento la línea 13 que obtiene el valor más alto de aptitud combinatoria general en el ensayo de la localidad 4 (0.36) y el segundo lugar en la localidad 1 y la localidad 3 después de la línea 11 que es la más consistente a través de los ensayos en las seis localidades, la línea 10 ocupa el segundo lugar en los ensayos de las localidades 2 y 4, finalmente también llama la atención la línea 14 que comparte el primer lugar con el valor más alto (0.50) de aptitud combinatoria general del ensayo de la localidad 5 con la línea 11 aunque se muestra con valores bajos en el resto de los ensayos obteniendo incluso valores negativos en tres de las localidades de evaluación.

Al efectuar el análisis combinado de las seis localidades para la estimación de la aptitud combinatoria general de cada una de las líneas participantes de acuerdo al diseño II de Carolina del Norte, se aprecia en el cuadro 8 que la línea macho que obtuvo el valor más alto y significativo de ACG fue la línea 1 con 0.538 y la línea hembra con el valor más alto y significativo fue la línea 11 (L11) con 0.717 y coincidentemente la cruz de ambas fue la cruz que exhibió el rendimiento de grano más elevado con 6.77 ton/ha de peso como se presentó en el cuadro 4, le sigue la cruz de las líneas L2 × L11 con 6.61 ton/ha aunque estadísticamente son iguales pues ambas junto con otras ocho forman el grupo de las mejores líneas en la prueba de DMS como se mostró con antelación en el cuadro 4.

## Conclusiones

Las líneas incluidas en el presente estudio generaron cruzamientos con niveles altos de diversidad tanto para caracteres cuantitativos de importancia económica como para marcadores moleculares basados en secuencias de ADN. Por otra parte, las localidades de evaluación de los cruzamientos fueron tan diversas, que para la mayoría de las variables, los efectos ambientales representaron hasta 40 veces la variación de las cruzas. Estas diferencias eran de esperarse dado que las localidades se ubican en latitudes de 7 a 29° y precipitación de 1000 a 3000 mm, entre otras cosas. La interacción genotipo ambiente contribuyó a explicar la variación observada pero su magnitud no fue de gran importancia.

Los análisis de varianza para cada localidad y en especial el análisis combinado permitieron concluir que en el material experimental los efectos de aptitud combinatoria general fueron los de mayor importancia para rendimiento de grano. La ACG de las líneas hembras fue tres veces mayor que la ACE, mientras que la de los machos cerca de 10 veces.

Estos resultados indican que las líneas incluidas en este estudio podrían ser de gran utilidad en programas de mejoramiento que aprovechan los efectos aditivos predominantemente. Tal es el caso de la línea 1 del grupo heterótico A y la línea 11 del grupo heterótico AB que presentaron los valores más altos y significativos de ACG en este estudio, 0.538 y 0.717 respectivamente. Con lo anterior se acepta la primera hipótesis de este trabajo.

En forma particular, se encontró que las líneas más promisorias para incorporarse a programas de mejoramiento y formación de híbridos de alta calidad de proteína para las regiones tropicales son L1 y L11. La línea 11 participó en tres de las mejores cruzas, mientras que la línea 1 participó en cuatro cruzas sobresalientes. Entre los cruzamientos más destacados se encuentran el L1 × L11, el L2 × L11 los cuales además de buen rendimiento, presentan buenas características agronómicas por lo que son candidatos para producción comercial en las regiones tropicales de México y otras partes del mundo.

## Literatura citada

- Allard R. W.** 1975. *Principios de la mejora genética de las plantas*. Editorial Omega, segunda edición, Barcelona, España
- Brauer H. O.** 1981. *Fitogenética aplicada*. Editorial Limusa.
- Duddley, J. W., Alexander D. E. and Lambert R. J.** 1977. *Mejoramiento genético de maíz de proteína modificada*. CIMMYT-PURDUE., pp. 127-143., Editorial Limusa.
- Eberhart, S. A. and Russell W. A.** 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. January -February. Vol. 6 36-40.
- Hallauer, A. R., Vazquez C. G. and Córdova O. H.** S/F. *Heterosis and Combining ability of tropical and subtropical Quality Protein Maize inbred lines in the U.S. Corn-Belt*.
- Mertz E., Nelson O. and Bates L. S.** 1964. Mutant gene that changes composition and increases lysine content of Maize endosperm. *Science* 154: 279.

**Robles S. R.** 1982. *Terminología genética y fitogenética*. Editorial Trillas.

**SAGARPA.** 1999. *Situación actual y perspectiva de la producción de maíz en México*. Documento de trabajo, no publicado.

**Sprague, G. F. and Tatum L. A.** 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *Jour. Amer. Soc. of Agron.* **34**: 923–930

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN  
29 DE JUNIO DE 2007

# Chemical composition and nutritional evaluation of *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (FABACEAE-MIMOSOIDEAE) seeds from Jalisco and Nayarit, México

Lucía Barrientos R.<sup>1</sup>, Magdalena Segura N.<sup>2</sup>, Fernando López-Dellamary T.<sup>1</sup>, Jesús Vargas R.<sup>1</sup>, Fernando Navarro A.<sup>1</sup>, Francisco Zamora N.<sup>3</sup>, Anne Santerre L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Las Agujas, Nextipac, 45020 Zapopan, Jal. km. 15.5 Carretera-Nogales. México.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Genética del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, km 9.6 Libramiento norte carretera Irapuato-León, Apdo. Postal 629, Irapuato, Gto. CP 36500, México.

<sup>3</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Las Agujas, Nextipac, 45020 Zapopan, Jal. km. 15.5 Carretera-Nogales. México.

Correo electrónico: lbarrien@dmcyp.cucei.udg.mx

**Abstract:** The contents of amino acids, carbohydrates and minerals of *Enterolobium cyclocarpum* (parota) seeds from several locations in the states of Jalisco and Nayarit, México, were determined by means of proximate analysis. Total proteins ranged from 19.25 to 30.34 [g/100g dry matter] depending on the location. The amino acids isoleucine, lysine, threonine and valine showed higher percentages than those listed in the respective FAO preschool age recommendations. The limiting factors in the seeds from all localities are the aromatic amino acids. In terms of the mineral content of phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper and iron, they were found to be highest in seeds collected from Tomatlán and Autlán and appear to be directly related to the quality of the sandy-loamy, less acidic soils found in the transition forests of these two localities. Potassium and calcium contents compare favorably with those of other edible legumes. According to protein, amino acid, and carbohydrate contents found, parota seeds may represent a viable alternative or a supplementary dietary source of protein and minerals for humans and livestock.

**Resumen:** Se determinó por medio de un análisis químico proximal el contenido de aminoácidos y minerales de semillas verdes y maduras de *Enterolobium cyclocarpum* de distintas localidades en el estado de Jalisco y Nayarit, México. Se encontró que la cantidad mostrada de proteína cruda varió de 19.25 a 30.34 (gramos/100gramos de materia seca), según las diferentes localidades. Los aminoácidos como isoleucina, lisina, treonina y valina mostraron un porcentaje alto, con respecto al señalado por la FAO para preescolar. Los aminoácidos aromáticos se presentaron de manera limitada en todas las localidades. Con respecto al contenido mineral como el fósforo, potasio, magnesio, sodio y cobre en las localidades de Tomatlán y Autlán al parecer está en relación con la calidad de los suelos ácidos encontrados en la zona de transición forestal de las dos localidades. Las cantidades presentes de potasio, calcio y hierro, en comparación con otras leguminosas resultaron mayores. De acuerdo al contenido de proteína cruda, y aminoácidos encontrados en las semillas de parota, se puede considerar que representan una alternativa viable como fuente de proteína y minerales para enriquecer alimentos pobres en estos elementos.

**Palabras Clave:** *Enterolobium cyclocarpum*, análisis químico proximal, minerales, aminoácidos.

## Introduction

The silviculture pasturing systems are a agricultural option that involves the presence of the tree interacting with the traditional components that are the forage and the animal (Pisa 2005). The trees within this agricultural model, play an important role from the point of view of ecological benefits: they help to conserve the biodiversity of animal species that participate in the dispersion of seeds and contribute to the natural regeneration of the forest (it generates additional products and income, wood, posts, firewood, etcetera); ecologically recover the degraded pastures; they reduce the dependency of external insumous; help to resist the own negative environmental impacts of the traditional systems (biodiversity, carbon fixation, water, ground, etcetera); and they allow to intensify the use of the resource ground without reducing the productive potential in the long term (Carranza 2003; Betancourt 2005).

Parota (*Enterolobium cyclocarpum*) (Jacq.) Griseb. is a leguminous tree widely distributed in the Mexican gulf area, from southern Tamaulipas through the Yucatan peninsula, and along the Pacific coast from Sinaloa to Chiapas (Huerta 1983). It is particularly frequent in the state of Jalisco. The deciduous trees attain 20 to 30 m in height and up to 3 m in diameter. Owing to their huge and spreading crowns the trees provide shade in agricultural and cattle regions. During the dry months (February through April) they shed their leaves (9% protein content) which are consumed as forage by livestock and small ruminants (Huerta op. cit.). In Mexico, parota wood is frequently used in light indoor and outdoor construction, furniture, general carpentry, canoes, and also for pharmaceutical products (Sotelo & Hernandez. 1981).

In years of poor bean and corn crops the parota seeds were consumed by the Huasteco Indians from Chiapas (Bressani & Elias 1980) as a source of protein with considerable nutritional value (Sotelo &

Lucas 1988). Several ways of preparing parota seeds are reported. They were eaten roasted or cooked; the green fruits were also used as an ingredient of soups and other dishes (Lucas et al. 1988). Mature fruits contain 38% protein (nearly as much as soybeans with 44%) and are a preferred forage for cattle (Deshpande 1994; Janzen 1997).

The objective of this study was to determine the nutritional elements of parota seeds, such as crude protein, minerals and amino acids. The information obtained from this study is expected to enhance the knowledge about the variability in chemical composition as well as nutritional properties of parota seeds related to the trees' habitat. It also serves as a platform to propose this leguminous tree as an alternative source for the enrichment of foodstuffs with proteins and trace elements.

## Material and methods

Parota seeds were collected in June 2002 from mature fruits at six different locations in the states of Jalisco and Nayarit, Mexico, i.e., Tomatlán, La Cruz de Guanacastle, Autlán, La Huerta, Tequila, and Ixtlán del Río. The altitude of these localities varied from 5 (Tomatlán) to 1020 (Ixtlán del Río) meters above sea level (masl) (table 1). Voucher specimens of the sample trees were collected and their botanical identity confirmed by qualified personnel at the Institute of Botany of the University of Guadalajara. From each location, climate data were registered (table 1) and soil samples collected for chemical analysis (table 2).

The seeds obtained from the fruit were washed in distilled water and dried at 55-60 °C for 48 hrs in an oven with forced air circulation. After drying, the seeds were ground and passed through a 0.5 mm mesh sieve (AOAC 1990).

Proximate chemical analysis of the seed flour provided data on the contents of protein, moisture, ash, fat, crude protein

Table 1. Altitude, climate data and soil classification from 6 locations in Jalisco and Nayarit, México.

Locality	Altitude [masl]	Temperature [°C]	Precipitation [mm]	Soil classification	pH
Tomatlán	5	28.2	714.1	Sandy loam	6.3
Guanacaxtle	50	26.9	892.2	Sandy loam	7.9
Autlán	500	25.2	842.2	Sandy loam	6.2
La Huerta	900	23.6	997.5	Sandy loam	6.7
Ixtlán	1020	24.5	858.5	Sandy loamy clay	6.8
Tequila	1200	23.2	1,073.1	Sandy loam	6.7

(%N  $\times$  6.25), following the procedure stipulated by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC 1990), i.e., degreasing of the flour with cold hexane at 4 °C; centrifugation for 30 min; evaporation of hexane until the material was dry. (Cantoral et.al. 1995; Occen et al. 1997).

Amino acids analysis was carried out by Varian liquid chromatography (HPLC) with Fluorescence Detector and column c18; degreased samples were hydrolyzed using 6 N HCl, and a 25 ml sample was injected into the HPLC. Finally, the limiting amino acid chemical score (Chan & Phillips 1994) was calculated based on the FAO/WHO (op. cit.) amino acids pattern.

Mineral content of soil and mature seeds: calcium, potassium, iron, copper and phosphorus concentrations were determined by means of an atomic emission Solar AA Series (Anonymous 1982; Gelderman & Mallarino 1988).

Three repetitions (n=3) were performed with all assays.

## Results and discussion

### SOIL COMPOSITION

Soil from Guanacaxtle (table 2) had the lowest percentage in content of elements with the exception of magnesium and calcium.

### PROXIMATE CHEMICAL COMPOSITION

The results of the proximate chemical analysis are shown in table 3 (mature seeds), and table 4 (green seeds). In relation to the mature seed, the highest crude protein content was found in seeds from Autlán, the lowest in those collected in Tequila and Ixtlan. Autlán seeds were higher in crude fiber content whereas corresponding percentages for La Huerta and Tequila localities were less than half of the Autlán value. The ether extract of seeds from Autlán was higher than that from all other locations. The ash content was similar for seeds from all localities evaluated. The

Table 2. Soil analysis results of 6 different locations in Jalisco and Nayarit, México [%]

	Tomatlán	Guanacaxtle	Autlán	La Huerta	Tequila	Ixtlán	Mean $\pm$ Sd
Organic carbon	4.96	1.11	5.09	2.73	4.35	4.62	3.81 $\pm$ 1.57
Nitrogen	0.34	0.05	0.24	0.19	0.22	0.25	0.20 $\pm$ 0.09
Organic matter	2.84	0.64	2.95	1.58	2.50	2.67	2.19 $\pm$ 0.90
Magnesium	0.33	0.47	0.27	0.20	0.27	0.20	0.28 $\pm$ 0.09
Calcium	0.33	0.39	0.57	0.67	0.47	0.40	0.46 $\pm$ 0.71
Potassium	0.15	0.07	0.38	0.25	0.73	0.22	0.29 $\pm$ 0.23
Phosphorus	0.04	0.01	0.09	0.01	0.01	0.01	0.028 $\pm$ 0.03

Mean values of triplicate  $\pm$  standard deviation.

Table 3. Proximate analysis results of *Enterolobium cyclocarpum* mature seeds from 6 locations in Jalisco and Nayarit, México [g/100g dry matter].

	Tomatlán	Guanacaxtle	Autlán	La Huerta	Tequila	Ixtlán	Mean ± Sd
Moisture	9.05	13.16	10.0	9.82	11.35	11.16	10.76±1.46
Crude protein (Nx6.25)	23.46	20.93	30.34	22.11	19.56	19.25	22.61±4.10
Ether extract	1.42	1.93	3.22	1.66	1.98	2.53	2.12±0.65
Crude fiber	14.19	14.55	20.38	8.52	8.14	15.50	13.55±4.61
Ash	4.0	3.5	4.0	3.8	4.6	3.9	3.97±0.36
Carbohydrates	56.95	50.09	43.35	63.63	66.22	58.85	56.52±8.54

Mean values of triplicate ± standard deviation. Carbohydrate calculated by difference.

Table 4. Proximate analysis results of *Enterolobium cyclocarpum* green seeds from 6 locations in Jalisco and Nayarit, México [g/100g dry matter].

	Tomatlán	Guanacaxtle	Autlán	La Huerta	Tequila	Ixtlán	Mean ± Sd
Moisture	18.30	13.16	17.3	6.00	16.00	11.16	10.93±5.40
Crude protein (Nx6.25)	13.87	12.97	18.25	15.86	15.57	16.87	15.58±5.40
Ether extract	1.40	3.5	6.10	2.1	5.00	3.80	3.65±5.40
Crude fiber	17.83	17.87	13.5	12.8	19.90	23.50	1756± 5.40
Ash	2.60	13.46	6.80	12.97	7.80	7.16	19.31±5.40
Carbohydrates	45.97	39.04	39.05	58.24	37.23	37.51	42.84±5.40

Mean values of triplicate ± standard deviation. Carbohydrate calculated by difference.

Guanacaxtle region presents smaller content of humidity. The other regions are similar in his data. In relation of green seeds, it presents inferior values in protein, emphasizing Autlán, but greater values in crude fiber, emphasizing Ixtlán with the highest value.

The results for crude protein obtained by proximate analysis are similar to those reported for the common bean (*Phaseolus vulgaris*, 26.6 g/100 g), an important human food source (AOAC op. cit. 1990). Likewise, corresponding values reported for chick-pea (*Cicer arietinum*: 26.2 g/100 g) and green pea (*Pisum sativum*: 21.3 g/100 g) are similar to those of parota seeds (Conklin-Brittain et al. 1999; De la Vega et al. 1981) suggesting that the latter could be used as an alternative human food source. (Douglas, et al. 2000; Friedman & Barndon 2001).

## AMINO ACIDS

The values determined for the various amino acids found in parota seeds are shown in table 5 in conjunction with the respective FAO/WHO (op. cit.) reference values. In regard to these values, the FAO requirements are covered for nearly all essential amino acids, except the aromatic amino acids which constitute the limiting factor in seeds from all of the locations. Other amino acids not referenced in the FAO/WHO list are given in this table.

Amino acid analysis resulted in higher L-leucine, lysine and L-valine contents than reported in the FAO/WHO standard. parota seeds from the Tequila locality had the highest content of sulphured amino acids.

## ELEMENT CONTENT

Nitrogen and mineral contents of parota seeds are presented in table 6 (mature

Table 5. Amino acids extracted from *Enterolobium cyclocarpum* seeds from 6 locations in Jalisco and Nayarit, México, referenced in the FAO/WHO Standard [g/16g of N].

	Tomatlán	Guanacaxtle	Autlán	La Huerta	Tequila	Ixtlán	Mean±Sd	FAO/WHO (1991)
Aromatic amino acids	4.25	4.82	4.79	5.30	4.05	4.71	4.65±0.45	6.3
L-Isoleucine(*)	3.53	4.11	4.61	4.75	3.53	4.25	4.13±0.52	2.8
L-leucine(*)	7.16	8.53	8.05	8.61	6.83	8.00	7.86±0.72	6.6
Lysine	7.13	8.06	7.02	7.66	5.90	6.31	7.01±0.81	5.8
Sulphured amino acids	1.75	1.77	1.85	2.20	4.18	1.62	2.23±0.98	2.5
Threonine(*)	3.67	1.22	3.15	5.02	3.93	4.41	3.57±1.32	3.4
L-valine(*)	3.93	4.24	4.72	4.94	3.82	4.34	4.33±0.44	3.5
Chemical score	91.00	83.31	91.81	96.01	80.66	91.36	89.03±5.81	---

(\*)Limiting amino acid: Aromatic amino acids for all studied localities

	Tomatlán	Guanacaxtle	Autlán	La Huerta	Tequila	Ixtlán	Mean±Sd
Aspartic acid	8.70	9.46	10.05	11.77	8.86	11.00	9.97±1.22
Alanin	12.02	4.79	4.57	5.47	4.31	4.94	6.02±2.97
Arginine	4.30	7.43	7.76	8.61	6.17	7.39	6.94±1.51
Glycine	6.16	4.10	4.17	5.63	4.51	5.20	4.96±0.84
L-Histidine	4.51	3.93	4.54	4.26	3.32	3.78	4.06±0.47
L-Serine	4.57	5.50	4.93	6.81	5.94	6.15	5.65±0.82
<b>TOTAL</b>	<b>71.68</b>	<b>67.96</b>	<b>70.21</b>	<b>81.03</b>	<b>65.35</b>	<b>72.10</b>	<b>71.39±5.35</b>

Sd=standard deviation n=3; Aromatic amino acids=phenylalanine + tyrosine; Sulphured amino acids=methionine+cysteine; Chemical score 19e=(g of amino acids in sample ÷ g of amino acids in FAO/WHO pattern) x 100.

seeds) and table 7 (green seeds). In both cases, results regarding element contents for the six locations were quite homogeneous. Results of seeds from Autlán, however, were somewhat different due to the relative richness in nitrogen and minerals, which could be related to texture soil quality (morphology, chemistry, acidity) and the mild climate which characterizes the transition forests of this region. Calcium and potassium contents in mature seeds, were higher than those of another well-known leguminous forage plant, *Prosopis africana* (Barminas et al. 1998) which as 0.29% calcium and 0.28% potassium.

## Conclusions

Parota (*Enterolobium cyclocarpum*) seeds possess crude protein content comparable to that reported for seeds of other edible legumes such as common bean, chick-pea and green pea.

Seeds collected from Tomatlán and Autlán showed the best overall characteristics with respect to the organic carbon and nitrogen with 4.96 - 5.09% and 0.34 - 0.24% respectively, probably due to soil acidity and the specific type of soil in these areas.

Mineral content of parota seeds suggests that this legume could be used as an alternative human food source, and a high quality forage for cattle.

Table 6. Element analysis of *Enterolobium cyclocarpum* mature seeds from 6 locations in Jalisco and Nayarit, México [g/100g of dry weight].

	Tomatlán	Guanacaxtle	Autlán	La Huerta	Tequila	Ixtlán	Mean ± Sd
Nitrogen	2.21	2.07	2.91	2.53	2.49	2.69	2.48±0.31
Calcium	1.59	1.71	1.58	1.62	1.12	1.35	1.50±0.22
Potassium	0.82	0.79	0.77	0.79	0.81	0.81	0.80±0.02
Magnesium	0.32	0.32	0.32	0.32	0.28	0.29	0.31±0.02
Sodium	0.19	0.19	0.12	0.09	0.12	0.13	0.14±0.04
Phosphorus	0.28	0.25	0.37	0.35	0.32	0.29	0.31±0.05
Copper	0.05	0.17	0.16	0.02	0.26	0.13	0.13±0.09

Mean values of triplicate ± standard deviation n=3.

Table 7. Element analysis of *Enterolobium cyclocarpum* green seeds from 6 locations in Jalisco and Nayarit Mexico [g/100g of dry weight].

	Tomatlán	Guanacaxtle	Autlán	La Huerta	Tequila	Ixtlán	Mean ± Sd
Nitrogen	1.91	1.96	2.78	2.46	2.12	2.21	2.24±0.32
Calcium	0.78	1.21	1.20	1.33	0.98	1.12	1.05±0.18
Potassium	0.15	0.36	0.24	0.24	0.46	0.25	0.28±0.10
Magnesium	0.21	0.22	0.26	0.14	0.10	0.11	0.17±0.06
Sodium	0.10	0.11	0.02	0.02	0.02	0.09	0.06±0.04
Phosphorus	0.19	0.15	0.12	0.11	0.15	0.07	0.12±0.04
Copper	0.00	0.05	0.02	0.00	0.14	0.02	0.04±0.05

Mean values of triplicate ± standard deviation n=3.

## References

- Anonymous.** 1982. *Inductively coupled plasma atomic emission spectrometric method for trace element analysis of water and wastes-Method 200.7*. United States Environment Protection Agency, Washington, DC.
- AOAC.** 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 15th edition (ed. K. Helrich). Arlington.
- Barminas, J.T., H.M.Main, J. Ali.** 1998. Nutrient content of *Prosopis africana* seeds. *Plant Foods Hum. Nutr.* **52**: 325–328.
- Betancourt K., M. Ibrahim, C. Villanueva y B. Vargas.** 2005. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Livestock Research Development* **17**(7): 26–57.
- Bressani, R. & L.G. Elias.** 1980. *Nutritional value of legume crops for humans and animals*. Her Majesty's Stationary Office, London, England.
- Cantoral, R., A. Fernández, J.A. Martínez y M.T. Camarilla.** 1995. Estudio comparativo de la composición y el valor nutritivo de semillas y concentrados de proteínas de leguminosas. *Archivos Latino-americanos de Nutrición* **45**(3): 242–248.
- Carranza, M. A.** 2003. Calidad y Potencial forrajero de especies del Bosque Tropical caducifolio de la Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia* **37**: 203–210.
- Chan, Chi-Wah & R.D. Phillips.** 1994. Amino acid composition and subunit constitution of protein fraction from cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. *J. Agric. Food Chem.* **42**: 1857–1860.
- Conklin-Brittain, N.L., E.S. Dierenfeld, R.W. Wrangham, M. Norconk & S.C. Silver.** 1999. Chemical protein analysis - a comparison of Kjeldahl crude protein and total ninhydrin protein from wild tropical vegetation. *J. Chem. Ecology* **25**: 122601–122622.

- Deshpande, S.S.** 1992. Food legumes in human nutrition, a personal perspective. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* **32**: 333–363.
- De la Vega, A, F. Giral & A. Sotelo.** 1981. Nutritional evaluation of the velvet bean (*Stizolobium cinerium*) alone and supplemented with methionine or wheat flour. *Rev. Nutr. Rep. Int.* **24**(4): 817–823.
- Douglas, J.L., H. Bissell & S.F. O'Keefe.** 2000. Conversion of nitrogen to protein and amino acids in wild fruits. *J. Chem. Ecology* **26**(7): 1749–1763.
- FAO/WHO.** 1991. *Protein Quality evaluation*, Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO food and Nutrition Paper No. 51). Rome, Italy.
- Friedman, M. & Brandon, J.L.** 2001. Nutritional and Health Benefits of soy protein. *J. Agric. Food Chem.* **49**: 1069–1086.
- Gelderman, R.H. & A.P. Mallarino.** 1998. Soil sample preparation. In: R. Brown (ed.): *Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region*. North Central regional publication No. 221 (revised). Missouri Agruc. Exp. Sta. SB 1001, Univ. Of Missouri, Columbia, pp. 5–6.
- Huerta, M.** 1983. *La Parota (Enterolobium cyclocarpum) (Jacq.) Griseb. como un recurso forestal de las zonas cálido húmedas en Jalisco*. Tesis de Maestría, Universidad de Guadalajara, México.
- Janzen, D.H.** 1981. *Enterolobium cyclocarpum* seed passage rate and survival in horses. Costa Rica pleistocene seed dispersal agents. *Ecology* **62**: 593–601.
- Lucas, B., A. Guerrero, L. Sigales & A. Sotelo.** 1988. True protein content and non protein amino acid present in legume seeds. *Rev. Nutr. Rep. Int.* **37**(3): 545–553.
- Occen, L.G., M.R. Bennink, M.A. Uebersax & Y.S. Chung.** 1997. Evaluation of drum dried meals prepared from split beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Protein quality and selected antinutritional factors. *J. Food Proc. Pres.* **21**(49): 335–344.
- Pisa, Pablo, C. Domínguez, G. De Martino.** 2005. Evaluación Nutricional del Mantillo de un Bosque seco Tropical Deciduo Típico del Noroeste del Estado de Guárico, Venezuela. *Rev. Amer. Alim. Cons.* **5**(1): 20–26.
- Sotelo, A. & M. Hernandez.** 1980. Nutritional evaluation of three varieties of beans (*Phaseolus*) using chemical and biological methods. *Rev. Nutr. Rep. Int.* **22**: 607–616.
- Sotelo, A. & B. Lucas.** 1988. Análisis especiales utilizados en nutrición y química de alimentos. *Rev. Inf. Cient. Tecn.* **3**: 28–32.

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN  
29 DE JUNIO DE 2007



# Estabilidad en genotipos de maíz tropical del patrón heterótico «Tuxpeño × Eto»

**Norberto Carrizales Mejía<sup>1</sup>, Hugo Córdova Orellana<sup>2</sup>, José de Jesús Sánchez González<sup>1</sup>, Salvador Mena Munguía<sup>1</sup>, Fidel Márquez Sánchez<sup>3</sup>, Florencio Recendiz Hurtado<sup>1</sup>, †Mario Abel García Vázquez<sup>1</sup> y †Juan Francisco Casas Salas<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Profesor investigador. Universidad de Guadalajara- CUCBA (Dpto. Producción Agrícola-IMAREFI). Km 15.5 Carr. Guad.-Nogales, C.P. 45110. Las Agujas Mpio. de Zapopan, Jal., México.

<sup>2</sup>Científico distinguido del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Coordinador del Subprograma Maíz de Trópicos Bajos (CIMMYT). Apartado Postal 6-641 06600 México, D.F., México.

<sup>3</sup>Profesor Investigador. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Centro Regional Universitario de Occidente. Av. Rosario Castellanos No. 2332 Colonia Residencial "La Cruz", C.P. 44950. Guadalajara, Jal., México.

Correo electrónico: nocame@cucba.udg.mx

**Resumen:** El objetivo fue determinar la estabilidad genética del rendimiento de grano de 32 genotipos provenientes de dos poblaciones de maíz tropical del CIMMYT (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32) en cuatro localidades de México y una de Colombia, por medio del Modelo Multiplicativo ajustado por regresión. Los resultados indican a la cruz Tux.-1 c19 × CML449 como mejor en rendimiento y respuesta en ambientes favorables (sensibilidad positiva y buen ajuste al modelo multiplicativo). Las mejores cruces fueron cinco genotipos estadísticamente iguales que respondieron bien en los ambientes buenos (carentes de estrés) de Colima y Tlaltizapán 2000B, y respondieron mal en ambientes malos (con estrés) tales como Agua Fria, Tlaltizapán 2001A y Palmira; lo cual, las hace inestables y sólo deben sugerirse en ambientes regulares y buenos. El modelo multiplicativo no fue eficaz en explicar las interacciones para el rendimiento. El método de selección recíproca recurrente (uso de MH) fue bastante eficiente en aprovechar los efectos aditivos y no aditivos del rendimiento, aumentando los efectos heteróticos en las cruces hechas entre ciclos avanzados de ambas poblaciones. Tuxpeño-1 co tuvo sensibilidad negativa y buen ajuste al modelo multiplicativo, mientras Eto Blanco co presentó sensibilidad media y falta de ajuste al modelo (inconsistente). El testigo Tuxpeño-1 c19 × CML449 tuvo buen RG, respondió mejor en ambientes malos y tuvo buen ajuste al modelo multiplicativo, mientras las colectas tuvieron un rendimiento de grano menor a la media del experimento.

**Abstract:** The objective of this study was to estimate the genetic stability of grain yield of 32 genotypes in two of CIMMYT's corn tropical populations (Tuxpeño-1 Pop. 21 and Eto Blanco Pop. 32) in four environments in Mexico and one in Colombia by means of the multiplicative model, estimated by regression. The results show that the cross Tux.-1 c19 × CML449 was better in yield and its response to favorable environments (positive sensitivity and good adjustment to model). The best crosses were five statistically equal genotypes that responded well in good environments (without stress), such as Colima and Tlaltizapan 2000B and badly to worse environments (with stress), such as Agua Fria, Tlaltizapan 2001A and Palmira. The conditions relating to the latter makes them unstable and able only to be suggested in regular and good environments. The multiplicative model was not effective in explaining the genotype-environment interactions for yield. The recurrent reciprocal method of selection (use of MH) was quite efficient in making the most of the effects that additives have on yield, thus increasing the heterotic effects in crosses made between the advanced cycles of both areas. Tuxpeño-1 co had no sensitivity and showed adjustment to the multiplicative model, whereas, Eto Blanco co showed some sensitivity and a lack of adjustment to the model (inconsistency). Tuxpeño-1 c19 × CML449 showed good grain yield, responded better to adverse environments and demonstrated a better adjustment to the multiplicative model, whereas the collections showed a grain yield smaller than that of the mean of the experiment.

## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo importante en el trópico de México, debido a que se efectúa en poco más de 2.7 millones de hectáreas del mismo; y más de un millón se cultivan en áreas tropicales de muy buena productividad (Sierra et al. 2002). Los fitomejoradores han aprovechado la media de rendimiento de los genotipos para seleccionar los mejores, sin considerar, la mayoría de las veces, que estos sean en realidad los de mayor estabilidad genética del rendimiento de grano (RG) en los diferentes ambientes de prueba; de tal forma, es necesario encontrar genotipos “rendidores y estables” y tolerantes o resistentes a diferentes factores restrictivos de la producción (plagas, enfermedades, sequía, etcétera).

La interacción genotipo/ambiente (IGA) es el comportamiento relativo diferencial que presentan los genotipos bajo diferentes ambientes. Se entiende por ambiente al complejo climático, edáfico y tecnológico que actúa sobre los genotipos (Márquez 1974; Cruz 1990). La falta de significancia en la IGA indica que una localidad en un solo año sería suficiente para identificar genotipos con mayor potencial genético; no obstante, la presencia de significancia indica que algún genotipo no mantuvo su diferencia en la magnitud de la variable de respuesta en relación con otro genotipo, para alguno de los ambientes de prueba y puede resultar difícil identificar los mejores genotipos a través de ambientes (Kang 2001).

La estabilidad del RG trata de explicar el ajuste de los genotipos a los cambios de estímulos ambientales cuando se evalúan en diferentes ambientes. Crossa (1992) y Lúquez et al. (2002) señalaron a la estabilidad como una condición intrínseca (genética) de los individuos en una población homogénea, o una condición de la población determinada por la constitución genética de los individuos que la integran y su integración entre éstos. De manera general, los criterios para seleccionar

genotipos estables con alto rendimiento han sido la media del RG, la respuesta de regresión de la media del RG con la media ambiental y las desviaciones de regresión (Finlay y Wilkinson 1963, Eberhart y Russell 1966 y Langer et al. 1979). El método multiplicativo (ajustado por regresión) se usa para determinar la estabilidad del RG en los genotipos evaluados, ya que, considera la reparametrización de coeficientes reportada por Mandel (1961 citado por Cruz 1990) de acuerdo al análisis clásico de regresión, donde al permitir la nulidad del coeficiente de regresión se acepta la no existencia de una relación lineal entre las variables en estudio; incluye los coeficientes de regresión ( $b_K$ ) y las desviaciones de regresión ( $D_K$ ) para describir situaciones posibles de ajuste al modelo multiplicativo (genotipos con  $b_K = 0$  y  $D_K = 0$  tienen sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo); Cruz (1990), presentó el tipo de análisis e interpretación del modelo así como el ajuste del mismo, ya que analiza series de experimentos (lugares, años y genotipos) con regresión entre rendimiento medio de genotipos por localidad y rendimiento medio de localidades.

El objetivo del presente estudio fue determinar la estabilidad genética del RG de 32 genotipos provenientes de las poblaciones Tuxpeño-1 (Pob.21) y Eto Blanco (Pob.32), en sus ciclos avanzados y cruza entre ciclos así como colectas y el testigo CML448 × CML449, evaluados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. La hipótesis en la que se basa el presente estudio fue la siguiente: las poblaciones y cruza formadas en diferentes ciclos de selección presentan estabilidad genética en rendimiento a través de ambientes probados, debido a la acumulación gradual de genes o alelos favorables.

## Materiales y métodos

### MATERIALES GENÉTICOS

Se evaluó el comportamiento de 32 genotipos de maíz del Subprograma de Trópicos Bajos (CIMMYT) durante los años 2000 a 2002; el germoplasma es característico del patrón heterótico «Tuxpeño × Eto» y estuvo integrado por ciclos de selección de Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32), cruzas entre ciclos avanzados, cruzas de ciclos por los probadores CML448 y CML449, colectas, cruzas de ciclo por colecta, y la cruz testigo CML448 × CML449. Ver cuadro 1.

Los ciclos avanzados se obtuvieron por tres métodos de selección recurrente (SR) que se utilizan para mejorar ambas poblaciones: a) selección de hermanos carnales (HC) para aumento del RG y reducción de altura de planta, durante el ciclo uno (c1) hasta el c11; b) selección de hermanos carnales recíprocos dentro de cada población (HCR) para aumento del RG, reducción de pudrición de mazorca, reducción de acame de raíz, y para amplia adaptación, del c12 al c16; y c) selección recíproca recurrente (SRR) con criterios de selección similares a los anteriores usando medios hermanos en la evaluación (MH), del c17 al c19. Las colectas que se usaron pertenecen a las dos poblaciones estudiadas y son materiales del banco de germoplasma CIMMYT; asimismo, la cruz testigo esta compuesta de dos líneas elite liberadas por CIMMYT, mismas que se utilizaron como probadores de ciclos avanzados.

### LOCALIDADES DE EVALUACIÓN

Se llevaron a cabo tres experimentos en condiciones de temporal y dos en riego. Cuatro de los experimentos fueron establecidos y conducidos por CIMMYT en tres ambientes de México (Puebla 2000B, Morelos 2000B y Morelos 2001A) y uno en Colombia (Palmira 2000B). Por su parte, la UdeG estableció y condujo un experimento en Colima (2002A); el cuadro 2 presenta el nombre, ubicación geográfica y altura sobre el nivel del mar de las cinco localidades.

### VARIABLES ESTUDIADAS

La variable en estudio fue el rendimiento de grano (RG); peso final de las mazorcas cosechadas por parcela útil (corregido por fallas, humedad al 15 % y desgrane) y calculado en toneladas por hectáreas (t/ha), de acuerdo al formato para toma de datos en ensayos internacionales del programa de maíz del CIMMYT (1985).

### DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar. Cada experimento estuvo integrado por dos bloques (repeticiones) de 32 tratamientos, compuestos por parcelas de dos surcos de 5 × 0.80 metros cada uno (8 m<sup>2</sup>). La parcela útil fue igual a la parcela total y se sembraron dos semillas por golpe a 0.25 metros de separación entre matas. Se hizo un aclareo para asegurar una densidad de población de 53,000 plantas por hectárea.

### ANÁLISIS DE VARIANZA INDIVIDUAL

El modelo del diseño de bloques completos al azar para cada ambiente es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}$$

donde  $Y_{ij}$  es la variable de respuesta del  $i$ -ésimo tratamiento en el  $j$ -ésimo bloque;  $\mu$  es la media general;  $T_i$  es el efecto de los tratamientos;  $\beta_j$  es el efecto de los bloques; y  $E_{ij}$  es el error experimental.

Con fin de probar las hipótesis acerca de los genotipos:

**Hipótesis nula** ( $H_0$ ): los genotipos evaluados son iguales entre sí.

$$(H_0: T_1 = T_2 = \dots = T_{32})$$

**Hipótesis alternativa** ( $H_a$ ): al menos uno de los genotipos es diferente a los demás.

Se utilizó la prueba de F, en donde:

$$F_c = CMG/CME$$

con (n-1) grados de libertad para genotipos y grados de libertad del error. Con fin

Cuadro 1. Ciclos de selección de las poblaciones 21 (Tuxpeño-1) y 32 (Eto Blanco), y otros genotipos evaluados. CIMMYT-UdeG (2000 - 2002).

Entrada	Pedigree	Origen
1	Tuxpeño -1 C6	TL00A1438-27#
2	Tuxpeño -1 C11	TL00A1438-41#
3	Tuxpeño -1 C16	TL00A1438-79#
4	Tuxpeño -1 C19	TL00A1438-91#
5	Eto Blanco C11	TL00A1438-44#
6	Eto Blanco C16	TL00A1438-82#
7	Eto Blanco C19	TL00A1438-94#
8	Tuxpeño -1 C11 × Eto Blanco C11	TL00A1438-42 × 45
9	Tuxpeño -1 C16 × Eto Blanco C16	TL00A1438-80 × 83
10	Tuxpeño -1 C19 × Eto Blanco C19	TL00A1438-92 × 95
11	Tuxpeño -1 C6 × CML449	TL00A1438-28 × 152
12	Tuxpeño -1 C11 × CML449	TL00A1438-43 × 152
13	Tuxpeño -1 C16 × CML449	TL00A1438-81 × 152
14	Tuxpeño -1 C19 × CML449	TL00A1438-93 × 152
15	Eto Blanco C11 × CML448	TL00A1438-46 × 151
16	Eto Blanco C16 × CML448	TL00A1438-84 × 151
17	Eto Blanco C19 × CML448	TL00A1438-96 × 151
18	CML448 × CML449	COT00A434-641x 642
19	* Tuxpeño -1 C0	TL00AI438-25#
20	** Eto Blanco C0	TL00AI438-11#
21	Tuxpeño -1 C0 × CML 449	TL00A1438-26x152
22	Eto Blanco C0 × CML 448	TL00AI438-12x151
23	Veracruz-39	TL00AI438-1#
24	Veracruz-39 × CML449	TL00AI438-2x152
25	Michoacán-166	TL00AI438-3#
26	Michoacán-166 × CML 449	TL00A1438-4x152
27	V-520-C	TL00AI438-5#
28	V-520-C × CML 449	TL00A1438-6x152
29	Toli-322	TL00A1438-7#
30	Toli-322 × CML448	TL00A1438-8x151
31	Vall-380	TL00AI438-9#
32	Vall-380 × CML 448	TL00A1438-10x151

\*Tuxpeño-1 (Población 21) C0    \*\* Eto Blanco (Población 32) C0 ó Diacol – V351 C0

Cuadro 2 Localidades de evaluación del ensayo de RG hecho con genotipos del patrón heterótico "Tuxpeño x Eto" y algunas características geográficas. CIMMYT-UdeG (2000-2002).

LOCALIDAD	Latitud Norte	Longitud Oeste	ASNM (m)
Agua Fría, Puebla.	19° 58' 48"	97° 49' 36"	780
Tlaltizapán, Morelos.	18° 31'	99° 18'	940
Coquimatlán, Colima	19° 03'	103° 48'	400
Palmira, Colombia	3° 31' 48"	76° 81' 13"	1001

de hacer comparaciones de las medias entre genotipos, se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) a nivel alfa de 5 y 1 %.

#### ANÁLISIS DE VARIANZA COMBINADO

El modelo para el análisis combinado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_j + G_k + GA_{ik} + e_{ijk}$$

donde  $i = 1, 2, \dots, a$ ;  $j = 1, 2, \dots, r$ ;  $k = 1, 2, \dots, g$ ;  $\mu$  = media general;  $A_i$  = efecto del  $i$ -ésimo ambiente;  $R_j$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque en el  $i$ -ésimo ambiente, los dos puntos (:) entre R y A indican que el factor R está anidado en el A;  $G_k$  = efecto del  $k$ -ésimo genotipo;  $GA_{ik}$  = efecto de la interacción genotipo-ambiente;  $e_{ijk}$  = error asociado con  $Y_{ijk}$  el cual es igual a la observación en el  $k$ -ésimo genotipo del bloque  $j$ -ésimo en el  $i$ -ésimo ambiente;  $a$  = número de ambientes;  $g$  = al número de genotipos; y  $r$  = al número de repeticiones.

Las pruebas de hipótesis nula ( $H_0$ ) y alternativa ( $H_a$ ) son: 1) Para genotipos la  $H_0$ :  $G_1 = G_2 = \dots = G_{32}$ , mientras que la  $H_a$  indica que cuando menos un genotipo es diferente al resto; 2) Para la interacción la  $H_0$ :  $(GA)_{11} = (GA)_{12} = \dots = (GA)_{ik} = 0$  mientras la  $H_a$  señala que al menos uno de los genotipos se comporta de diferente forma a través de ambientes; 3) El estadístico de prueba utilizado fue F al 1 y 5% de probabilidades; la Fc se comparó con F tabulada a los niveles de probabilidad indicados y los grados de libertad de genotipos y error experimental; 4)  $F_c = CMG/CME$  con  $(g-1)$  grados de libertad y grados de libertad del

CME; y 5)  $F_c = CMGA/CME$  con  $(a-1)(g-1)$  grados de libertad y grados de libertad del CME.

#### ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE

Para el análisis de la IGA se usó el Modelo Multiplicativo ajustado por regresión (Cruz 1990). Su modelo fue el siguiente:

$$Y_{ik} = \mu + (1 + \beta_k) A_i + G_k + d_{ik} + e_{ik}$$

donde  $Y_{ik}$  indica la sumatoria de las observaciones del  $k$ -ésimo genotipo en el  $i$ -ésimo ambiente;  $\mu$  es la media general;  $(1 + \beta_k)$  es el coeficiente de regresión del  $k$ -ésimo genotipo;  $A_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo ambiente;  $G_k$  es el efecto del  $k$ -ésimo genotipo;  $d_{ik}$  es la desviación de regresión del  $k$ -ésimo genotipo en el  $i$ -ésimo ambiente; y  $e_{jk}$  es el error asociado con la media  $Y_{ik}$ .

Este procedimiento (dentro del modelo multiplicativo) es el más conocido para estimar  $(1 + \beta_k)$  y los estimadores de  $b_k$  y  $B_k$  pueden obtenerse con la fórmula:

$$1 + b_k = \frac{\sum_i (Y_i - Y_{..}) Y_{ik}}{\sum_i (Y_i - Y_{..})^2}$$

La expresión es similar a los coeficientes de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russel (1966), excepto por la reparametrización de coeficientes reportada por Mandel (1961 citado por Cruz 1990). La suma de cuadrados de regresión en este procedimiento se conoce como suma de cuadrados de No aditividad

(SCNA). La prueba de hipótesis nula es  $H_0: B_K = 0$  para  $k = 1, 2, \dots, g$ . Mandel (1961 citado por Cruz 1990) demostró que la SCNA /  $\sigma^2$  tiene distribución  $\chi^2$  con  $(g-1)$  grados de libertad, y que puede probarse con la suma de cuadrados de desviaciones de regresión.

$$SCDR = SCGA - SCNA$$

En la prueba de nulidad de un coeficiente de regresión  $H_0: B_K = 0$  indica que las  $B_K$  son iguales a cero, la hipótesis alternativa señala que son diferentes a cero ( $H_a: B_K \neq 0$ ). Si el estadístico de la prueba considera que  $F_c > F_\alpha$  se rechaza  $H_0$ . Esto es, se rechaza la hipótesis nula si:

$$|b_k| \geq t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{SCDR/(a-2)}{rg \sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2}}$$

Si se concluye que el modelo multiplicativo no es adecuado se puede tratar de identificar para qué genotipos falla al observar que la SCDR se puede descomponer en  $g$  componentes, uno para cada genotipo; la descomposición se hace con la siguiente ecuación:

$$D_k = r \left[ \sum_i (Y_{ik} - Y_{.k})^2 - (1 + b_k)^2 \sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2 \right]$$

esto es,  $\frac{D_k}{r}$  coincide con la suma de cuadrados de desviaciones del genotipo  $k$  en el cuadro presentado por Eberhart y Russel (1966). La hipótesis de que el

modelo multiplicativo es adecuado para el genotipo  $k$  se rechaza si  $F_K \geq F_\alpha$ . El cuadro 3 presenta la clasificación de genotipos con respecto a los coeficientes  $B_K$  y la suma de cuadrados de las desviaciones  $D_K$ ; la cual es análoga a la propuesta por Carballo y Márquez (1970).

### Resultados y discusión

Con la finalidad de explicar en detalle la IGA, se usó el modelo multiplicativo ajustado por regresión (Westcott 1986 citado por Cruz 1990). El cuadro general de análisis de variación del modelo multiplicativo (cuadro 4), mostró diferencia altamente significativa (1%) entre genotipos y ambientes, diferencia significativa (1%) entre las  $D_K$  y no presentó diferencia significativa entre varianzas de las  $b_k$ . El análisis del ajuste por regresión para el RG mostró falta de ajuste al modelo, debido a que el modelo multiplicativo únicamente explicó el 23 % de la suma de cuadrados (SC) para las IGA del RG; es importante señalar que la SC de la NA debería ser mayor al 70 % de la SC de las IGA, para poder ser altamente recomendable el uso del modelo multiplicativo (Cruz 1990).

En el modelo multiplicativo, el empleo de la clasificación de Talbot (1982, citado por Cruz 1990), es un cuadro análogo al cuadro de Carballo y Márquez (1970) pero no emplea el término “estabilidad”; no obstante, cuando se hace la clasificación del modelo se puede relacionar a los

Cuadro 3. Casos posibles al ajustar el modelo multiplicativo (Cruz 1990).

Situación	$B_K$	$D_K$	Descripción
1	0	0	Genotipo con sensibilidad promedio y buen ajuste (al modelo multiplicativo)
2	0	> 0	Sensibilidad promedio pero con falta de ajuste.
3	< 0	0	Respuesta mejor en ambientes desfavorables (sensibilidad negativa) y con buen ajuste.
4	< 0	> 0	Sensibilidad negativa y con falta de ajuste.
5	> 0	0	Respuesta mejor en ambientes (sensibilidad positiva) y con buen ajuste.
6	> 0	> 0	Sensibilidad positiva pero con falta de ajuste.

coeficientes de regresión con la estabilidad del cuadro de Carballo y Márquez (op. cit.). La sensibilidad de los genotipos expuesta por Cruz (op. cit.), equivaldría entonces a la estabilidad de los genotipos.

El cuadro 5 muestra la diferencia estadística (5%), en RG, de los genotipos y sus correspondientes coeficientes de regresión ( $b_k$ ) y desviaciones de regresión ( $D_k$ ). Dentro del grupo significativo, cinco genotipos fueron estadísticamente iguales y superiores al resto; el mejor rendimiento (8.666 toneladas por hectárea) lo tuvo la entrada 14 (Tuxpeño-1 c19 × CML449) que presentó su mejor respuesta en ambientes favorables (sensibilidad positiva y buen ajuste al modelo multiplicativo); le siguió la entrada 11 (Tuxpeño-1 c6 × CML449) con sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo, asimismo, los tres genotipos restantes presentaron sensibilidad promedio pero no se ajustaron al modelo multiplicativo. La cruza testigo CML448 × CML449 y la cruza Vall-380 × CML448 respondieron a ambientes desfavorables por su sensibilidad negativa y buen ajuste al modelo multiplicativo. Tuxpeño-1 c0 tuvo sensibilidad y buen ajuste al modelo, en cambio, Eto Blanco c0 presentó

sensibilidad media y falta de ajuste al modelo (inconsistente).

Casi todos los ciclos avanzados de Tuxpeño-1 y Eto Blanco tuvieron sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo, excepto Eto Blanco c11 que fue medianamente sensible y no se ajustó al modelo. Por último; las colectas presentaron sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo pero tuvieron un RG menor a la media del experimento. La media general fue 6.570 toneladas por hectárea, se encontró una DMS (5%) de 0.726 toneladas por hectárea y hubo un coeficiente de variación de 12.36 %, el cual indicó la aceptación de los resultados de ésta evaluación bajo el tipo de condiciones en que se realizó.

Los resultados obtenidos sobre la estabilidad del RG de los cinco genotipos del grupo superior respecto su comportamiento similar a través de ambientes, sugiere que su inestabilidad es debida a una buena respuesta en los mejores ambientes (Colima y Tlaltizapán 2000B) y una mala respuesta en ambientes desfavorables (Tlaltizapán 2001A, Agua Fría y Palmira). Resultados similares fueron reportados por Eberhart y Russell (1966) y Kang (2001).

Cuadro 4. Análisis general de variación de modelo multiplicativo, RG (t/ha), de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32) evaluados en cuatro ambientes de México (Puebla, Colima y dos en Morelos) y en Palmira, Colombia. CIMMYT-UdeG (2000- 02).

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%
A	4	845.286	211.322	92.778 **	2.37	3.32
R:A	5	11.389	2.278			
G	31	572.990	18.484	25.232 **	1.45	1.69
G/A	124	141.396				
NA	31	33.833	1.091	0.944 ns	1.45	1.69
DR	93	107.564	1.157	1.579 **	1.22	1.32
ERROR	155	113.543	0.733			
TOTAL	319					

\*\*Significativo al 1%. \*Significativo al 5%. ns = no significativo.

Nota: la suma de cuadrados de NA sólo explicó un 23% de la SC de IGA.

Cuadro 5. Respuesta en RG (t/ha) por análisis multiplicativo, coeficientes ( $b_k$ ) y desviaciones ( $D_k$ ) de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 (Pob. 21) y Eto Blanco (Pob. 32) evaluados en cuatro ambientes de México (Colima, Puebla y dos en Morelos) y en Palmira, Colombia. CIMMYT-UdeG (2000-02).

Entrada	Genotipo	t/ha	$b_k$	$D_k$
14	Tuxpeño-1 c19 × CML449	<b>8.666</b>	<b>0.435</b>	1.539
10	Tuxpeño-1 c19 × Eto Blanco c19	<b>8.219</b>	0.057	<b>5.874</b>
13	Tuxpeño-1 c16 × CML449	<b>8.018</b>	0.019	<b>6.225</b>
11	Tuxpeño-1 c6 × CML449	<b>7.967</b>	0.186	0.273
21	Tuxpeño-1 c0 × CML449	<b>7.954</b>	0.190	<b>6.237</b>
:	:	:	:	:
18	CML448 × CML449	7.571	<b>-0.419</b>	4.968
9	Tuxpeño-1 c16 × Eto Blanco c16	7.180	0.010	<b>5.854</b>
22	Eto Blanco c0 × CML448	6.442	-0.062	<b>7.510</b>
32	Vall-380 × CML448	5.164	<b>-0.433</b>	0.187
19	Tuxpeño-1 c0	5.075	-0.005	2.075
5	Eto Blanco c11	5.002	-0.079	<b>6.119</b>
20	Eto Blanco c0	4.671	0.180	<b>9.648</b>
:	:	:	:	:
31	Vall-380	3.703	-0.195	0.806

DMS (5%) = 0.726 t/ha. Media = 6.570 t/ha. C.V. = 12.36%.  $b_k$  (5%) = 0.410  
 Cantidades en negrita, son estadísticamente iguales entre sí.

En relación al carácter estudiado, los resultados de este estudio son similares a las observaciones hechas por varios investigadores como Márquez (1974 y 1992) y Cruz (1990), quienes consideraron a la IGA como el comportamiento relativo diferencial de los genotipos bajo diferentes ambientes; entendiéndose por ambiente el complejo climático, edáfico y tecnológico que actúa sobre el genotipo. De la misma forma, las diferencias en estabilidad a través de ambientes indica una fuerte IGA con efecto de selección reducida en la heredabilidad de caracteres genéticos, al incrementarse la varianza fenotípica con la varianza por IGA; la heredabilidad juega un papel clave en la determinación del avance genético por selección, ya que una IGA grande le afecta negativamente (Márquez 1992 y Kang 2001). Por el tipo de resultados obtenidos se sugiere trabajar con ciclos avanzados que posean sensibilidad promedio, se ajusten bien al modelo multiplicativo y

ofrezcan resultados significativos en RG; así se podría derivar líneas seleccionadas con genes favorables para ser usadas en programas de cruzamiento y producir genotipos genéticamente estables en RG y/o generar híbridos específicos para ambientes con gran potencial de RG y que puedan presentar estabilidad en ambientes de estrés.

## Conclusiones

La SRR aprovechó de manera bastante eficiente los efectos aditivos como los no aditivos en el RG, el cual fue significativamente superior en los ciclos avanzados de Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32).

El fenómeno de la IGA limita en cierta medida el entendimiento de las respuestas a la selección recurrente y la elección de genotipos con fines de recomendaciones para los agricultores.

En este estudio se usó el modelo

multiplicativo ajustado por regresión, sin embargo, éste no fue eficaz en explicar las interacciones para el carácter evaluado.

En trabajos futuros se requerirá elegir de manera bastante cuidadosa un mayor número de ambientes y explorar métodos de análisis adicionales.

Referente a las localidades de evaluación, puede señalarse que los mejores ambientes en RG son Colima y Tlaltizapán 200B; en cambio, Agua Fría, Tlaltizapán 2001A y Palmira fueron inferiores para esta característica.

La cruz Tuxpeño-1 c19 × CML449 fue el mejor genotipo en RG y las colectas tuvieron un rendimiento menor a la media del experimento.

Las cruces entre ciclos avanzados, por lo general, responden mejor a los ambientes carentes de estrés (buenos) y responden mal a los ambientes con estrés (malos), por lo que hace que su comportamiento sea inestable y por tanto, sólo deberán sugerirse para ambientes regulares y buenos.

El uso de los mejores ciclos avanzados, en programas de cruzamiento, podría ayudar a generar materiales genéticamente estables y sobresalientes, tales como híbridos específicos en ambientes con gran potencial de RG y estabilidad en ambientes de estrés.

Es importante usar las mejores cruces de los ciclos avanzados (ambas poblaciones) en programas de cruzamiento donde se empleen probadores sobresalientes y obtener híbridos tropicales rendidores y estables, con mejor información sobre la Aptitud Combinatoria (AC) del germoplasma generado para hacer un aprovechamiento inmediato en híbridos simples, trilineales o dobles.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y de la Universidad de Guadalajara (UdeG) por haber financiado este estudio. Asimismo, se agradece a dos revisores anónimos sus

observaciones vertidas en el presente y a Servando Carvajal la corrección de estilo del documento.

## Bibliografía

- Carballo C., A. y F. Márquez S.** 1970. Comparación de genotipos de maíz del Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia. México* 5(1): 129–146.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).** 1985. *Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de maíz del CIMMYT.* México, DF. Cuarta reimpresión, 1995.
- Crossa, José.** 1992. Análisis estadístico de series de experimentos. *Memorias Simposio Interacción Genotipo - Ambiente en Genotecnia Vegetal.* 26 al 27 de Marzo de 1992 (Pp. 149–169). Guadalajara, Jalisco. México.
- Cruz M., R.** 1990. *Análisis estadístico de la interacción genotipo ambiente.* (SEP-DGETAM), Instituto Tecnológico Agropecuario No. 21.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell.** 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36–40.
- Finlay, K. W. and G. N. Wilkinson.** 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. Jour. Agric. Res.* 14: 742–754.
- Kang, M. S.** 2001. Genotype-Environment Interaction: Progress and Prospects. In: *Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding.* Ed. Manjit S. Kang. CABI Publishing, 2001.
- Langer, I., K. J. Frey and T. Bailey.** 1979. Associations among productivity, production response and stability indices in oat varieties. *Euphytica* 28: 17–24.
- Lúquez, J., M. Weilenmann de Tau., H. Forjan y M. Piersanti.** 2002. *Estabilidad de híbridos de maíz para rendimiento de grano.* Resumen.
- Márquez S., F.** 1974. *El problema de la interacción genético - ambiental en Genotecnia Vegetal.* PATENA, A. C. Fitotecnia. Chapingo, México.
- Márquez S., F.** 1992. La interacción genético-ambiental en Genotecnia Vegetal (revisión). *Memorias Simposio interacción genotipo-ambiente en Genotecnia Vegetal.* 26 al 27 de

Marzo de 1992. Pp. 1–27. Guadalajara, Jal. México.

**Sierra M., M., F. Márquez, R. Valdivia, H. Córdova, R. Lezama y A. Pescador.** 2002. *Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz*. Plática doctoral en la décima quinta reunión científica tecnológica forestal y agropecuaria, Veracruz. México.

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN

29 DE JUNIO DE 2007

# Adaptación climática y distribución geográfica potencial del grupo racial Cónico de maíz (*Zea mays* L.) en la República Mexicana

Noé Durán Puga<sup>1</sup>, José Ariel Ruiz Corral<sup>2</sup>, José de Jesús Sánchez González<sup>3</sup>, José Ron Parra<sup>3</sup> y Diego Raymundo González Eguiarte<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Alumno del Postgrado en Ciencias Agrícolas y Forestales. División de Ciencias Agronómicas, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Departamento de Cs. Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Correo-e: ruiz.ariel@inifap.gob.mx

<sup>3</sup>Instituto Para el Manejo y Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos, Depto. de Producción Agrícola, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Km. 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales, Zapopan 45110, Jalisco.

**Resumen:** Con el objeto de determinar los rangos climáticos de adaptación y los lugares más probables de distribución en la República Mexicana de las diversas razas de maíz (*Zea mays* L.), correspondientes al Grupo Racial Cónico, se conformó una matriz de datos georreferenciados de cada uno de los puntos de colecta de 10 razas de maíz, en la que se utilizaron los resultados del Proyecto Latinoamericano de Maíz (LAMP). Con ella se caracterizaron los rangos climáticos de adaptación de las razas al realizar una búsqueda de coordenadas de cada uno de los sitios de colecta en el Sistema de Información Ambiental Nacional (SIAN) del INIFAP, el cual está compilado en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32. Las variables que se consideraron en esta caracterización fueron: temperatura media anual, temperatura media mayo-octubre, precipitación acumulada promedio anual, precipitación acumulada promedio mayo-octubre, altitud y tipo climático. Con los rangos climáticos de las razas y con el SIAN se procedió a delimitar las áreas potenciales de distribución de las razas, mediante el uso del sistema IDRISI32. Los resultados mostraron que las razas se distribuyen bajo los siguientes límites de altitud, precipitación acumulada media anual, temperatura media anual y número de tipos climáticos: Raza Arrocillo: 1660 a 2814 m, 462 a 2515 mm, 11.9 a 19.4 °C, 5 tipos climáticos (tc); R. Cacahuacintle: 1960-2700 m, 471-1855 mm, 12.7-17.6 °C, 4 tc; R. Chalqueño: 1780-2900 m, 436-2506 mm, 11.3-18.7 °C, 10 tc; R. Cónico Norteño: 1700-2670 m, 426-2110 mm, 12.6-18.8 °C, 8 tc; R. Cónico: 1700-2900 m, 462-2506 mm, 11.2-18.9 °C, 9 tc; R. Elotes Cónicos: 1760-2700 m, 471-2169 mm, 12.7-18.5 °C, 7 tc; R. Maíz Dulce: 1284-2090 m, 489-911 mm, 16.2-21.2 °C, 7 tc; R. Mushito: 1705-2600 m, 555-2386 mm, 13.5-19.1 °C, 5 tc; R. Palomero de Chihuahua: 1964-2140 m, 486-778 mm, 13.7-14.9 °C, 2 tc; R. Palomero Toluqueño: 2140-2887 m, 486-1960 mm, 11.4-15.9 °C, 5 tc. En todas las razas estudiadas, las áreas potenciales de distribución resultaron más extensas que las áreas donde se ubican puntos de colecta, lo cual denota posibilidades de encontrar ejemplares de dichas razas en áreas diferentes a las que hasta ahora se habían reportado.

**Palabras clave:** *Zea mays*; Razas; Adaptación climática; Distribución geográfica; SIG.

**Abstract:** The purpose of the present study is to determine the climatic ranges of adaptation and the most probable distribution areas in Mexico of the maize types (*Zea mays* L.) that belong to the Conical Racial Group. A geo-referenced data matrix of each of the collection points of 10 maize types was created using the results from the LAMP Project Report. With this data matrix, the climatic ranges of adaptation of these races were characterized by searching the coordinates of each collection site in the National Environmental Information System (NEIS) of the INIFAP, compiled in the geographical information system (GIS) IDRISI32. The variables considered under this characterization

were: annual mean temperature, annual May-October mean temperature, annual mean accumulated rainfall, May-October mean accumulated rainfall, altitude and climate type. With the climatic ranges of the races and with the NEIS, the potential areas of distribution for the races were marked by means of the IDRISI32 system. The results yielded show that the races are distributed under the following altitude ranges, the annual mean accumulated rainfall, the annual mean temperature and the number of climate types: Race Arrocillo: 1458 to 2814 m, 453 to 3018 mm, 11.9 to 20.3 °C, 5 climate types (tc); R. Cacahuacintle: 1960-2700 m, 422-1862 mm, 12.7-17.6 °C, 4 tc; R. Chalqueño: 1066-2900 m, 422-2506 mm, 11.3-22.4 °C, 10 tc; R. Northern Conical: 1377-2670 m, 426-2633 mm, 11-20.6 °C, 8 tc; R. Conical: 1700-2900 m, 426-2731 mm, 11.2-18.9 °C, 9 tc; R. Conical maize: 1567-2700 m, 443-2169 mm, 12.7-19.7 °C, 7 tc; R. Sweet maize: 1284-2090 m, 471-961 mm, 16.2-21.2 °C, 7 tc; R. Mushito: 1400-2600 m, 543-2597 mm, 13.5-20.6 °C, 5 tc; R. Palomero de Chihuahua: 1964-2140 m, 486-778 mm, 13.7-14.9 °C, 2 tc; R. Palomero Toluqueño: 2140-2887 m, 500-2086 mm, 11.4-15.9 °C, 5 tc. In all of the races under scrutiny, the potential areas of distribution are more sizeable than the collection site areas. This means that there is a possibility of finding samples of these races in areas other than those that have been reported to date.

**Key words:** *Zea mays*; Races; Climatic adaptation; Geographical Distribution; GIS.

## Introducción

El maíz es el cultivo más importante y de mayores repercusiones en la economía de la República Mexicana. Constituye la principal fuente de proteínas y carbohidratos, ya que anualmente se consumen en México 6.5 millones de toneladas de maíz en forma de tortillas (INEGI 2003). Cada año, es mayor la presión en cuanto a cubrir la demanda de este cereal en México. De hecho, nuestro país necesita realizar importaciones anuales para cubrir esta demanda. Pugnar por un alto nivel de rendimiento de grano en este cultivo es un objetivo difícil de lograr debido a que se produce en una amplia gama de condiciones agroecológicas y socioeconómicas, lo que de manera lógica dificulta la implementación de tecnologías de producción únicas. Ante esta situación, la utilización de la amplia diversidad genética del maíz en México para la generación de genotipos de siembra adecuados a los diversos ambientes del país, puede ser una estrategia inteligente.

Por lo anterior, la conservación de los recursos fitogenéticos se considera como un área prioritaria no sólo en México sino en todo el mundo, debido a las significa-

tivas implicaciones que tiene la conservación de la diversidad genética, sobre el mantenimiento y generación de poblaciones de plantas que constituyen la base para programas de mejoramiento genético de las principales especies de cultivo. Desde este punto de vista, poner en riesgo la conservación de recursos genéticos, es atentar incluso contra la práctica de una agricultura sostenible.

No obstante esta consideración, son pocos los estudios que se realizan sobre la caracterización y conservación de los recursos fitogenéticos en México. Una de las necesidades actuales de investigación es la determinación confiable de la adaptabilidad ambiental y la distribución geográfica de los recursos fitogenéticos, así como, la cuantificación o la estimación de la diversidad de especies y la abundancia de cada especie por región geográfica o agroecológica. Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo determinar los rangos climáticos de adaptación y los lugares más probables de distribución en la República Mexicana, de las diversas razas

de maíz (*Zea mays* L.) correspondientes al Grupo Racial Cónico.

De acuerdo con Sánchez y Goodman (1992) las razas mexicanas de maíz pueden ser clasificadas en seis grupos raciales, dentro de los cuales se incluye el Grupo 1 o Grupo Racial Cónico, el que a su vez está integrado por las razas Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico Norteño, Cónico, Elotes Cónicos, Maíz Dulce, Mushito, Palomero de Chihuahua y Palomero Toluqueño. De estas razas, Cónico Norteño, Cónico y Chalqueño, se han utilizado en programas de mejoramiento genético de maíz; Cónico Norteño en el Bajío, y Cónico y Chalqueño en los Valles Altos de México (Morales 2005). De este Grupo Cónico, las razas Dulce, Mushito y Cónico Norteño fueron recientemente colectadas y reportadas en el Occidente de México por Ron et al. (2006).

Por lo general, los análisis de distribuciones geográficas se basan en localidades individuales y registros puntuales de las especies. Esto en cierto modo limita el conocimiento adecuado de la distribución de los taxones, pues para la mayoría de las especies se carece de un número suficiente de especímenes recolectados o de observaciones fidedignas. Por tanto, a menudo nuestro conocimiento es incompleto y fragmentario (Peterson et al. 1998), y se requiere de una multitud de métodos disponibles para delinear con precisión aproximada la distribución de un taxón. Una alternativa para este problema ha sido discutida por varios autores de un tiempo a la fecha (Carroll et al. 1999; Manel et al. 1999; Cowley et al. 2000; Ruiz et al. 2001); ellos han resaltado que la relación entre las condiciones ambientales y las localidades conocidas de un taxón puede ser una forma de explicar los patrones de distribución. Sin embargo, dado el esfuerzo inmenso que implica conocer con detalle los requerimientos de hábitat particulares de cada especie, en fechas recientes se han desarrollado algoritmos nuevos y herramientas informáticas, entre ellas se cuentan las que generan distribuciones potenciales,

basadas en un conjunto de registros individuales de una especie; tales registros se relacionan con las variables ambientales presentes en dichas localidades (Carroll et al. op. cit.; Manel et al. op. cit.; Cowley et al. op. cit.). La posibilidad de construir mapas precisos de la distribución de las especies, llenando huecos de conocimiento y muestreo, aumenta en gran medida las potencialidades de análisis e interpretación.

La información acerca de las condiciones ambientales de los sitios de colecta de germoplasma puede proporcionar datos adicionales importantes para las colecciones de germoplasma, dado que normalmente esas condiciones ambientales están asociadas con los diferentes patrones de variabilidad genética, lo cual refleja procesos de adaptación de germoplasma a factores ambientales (Lobo et al. 2003). Muchos estudios apoyan la hipótesis de que la resistencia a diferentes tipos de estrés abiótico puede ser encontrada en colectas previamente expuestas al estrés ambiental específico (Hawtin et al. 1996). De esta forma, por ejemplo, Cocks y Ehrman (1987) encontraron que en la mayor parte de las especies nativas de leguminosas de Siberia, había una relación significativa entre la tolerancia a heladas y el grado de frío en los sitios de colecta de las especies (número de días con bajas temperaturas).

Una de las necesidades actuales de investigación es la determinación confiable de la distribución geográfica de los recursos fitogenéticos, así como la cuantificación o la estimación de la diversidad de especies y la abundancia de cada especie por región geográfica o agroecológica (Sánchez y Ruiz 1995). Para lograrlo, es necesario determinar los requerimientos climáticos de ellos, empezando por caracterizar los ambientes de distribución de las especies.

La caracterización agroecológica de los sitios habitados por las especies vegetales para determinar sus requerimientos ambientales es un procedimiento utilizado con frecuencia no sólo en especies silvestres (Ruiz et al. 2001), sino también en especies cultivadas (Ruiz et al. 1999). Con

base en sistemas de información geográfica, Hijmans y Spooner (2001) estudiaron la distribución geográfica y riqueza de las especies silvestres de la papa (*Solanum* spp.); Ruiz et al. (2001) determinaron los rangos de adaptación climática y topográfica de diversas especies de teocintle (*Zea* spp.) en la República Mexicana, los cuales al ser analizados en un sistema de información geográfica (SIG) dieron como resultado la delimitación de áreas potenciales de distribución de tales especies. Guarino et al. (2002) describieron la importancia de los SIG en la conservación y utilización de los recursos filogenéticos.

## Materiales y métodos

### ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio la constituyó el territorio de la República Mexicana y en especial los sitios de colecta de las razas de maíz bajo estudio.

### MATERIALES GENÉTICOS

Razas de maíz Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico Norteño, Cónico, Elotes Cónicos, Maíz Dulce, Mushito, Palomero de Chihuahua y Palomero Toluqueño.

Cuadro 1. Número de colectas por raza, consideradas en el estudio.

Raza	Número de colectas
1. Arrocillo	106
2. Cacahuacintle	32
3. Chalqueño	368
4. Cónico	947
5. Cónico Norteño	315
6. Elotes Cónicos	136
7. Maíz Dulce	13
8. Mushito	61
9. Palomero de Chihuahua	3
10. Palomero Toluqueño	18

### BASES DE DATOS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Se utilizó información sobre colectas realizadas en la República Mexicana para las 10 razas de maíz. Esta información se obtuvo del Catálogo de Germoplasma de Maíz del Proyecto Latinoamericano de Maíz, Volumen I y II (LAMP 1991), el cual fue revisado y corregido por Sánchez (2004, comunicación personal). El número de colectas con información geográfica considerado finalmente para cada raza se describe en el cuadro 1.

Para verificar la localización geográfica de algunos sitios de colecta se utilizaron cartas topográficas escala 1:50,000 de la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL 1974) de diversas regiones del país, el Nomenclátor de la Síntesis Geográfica Estatal (SIGE) del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) para diversas Entidades Federativas (INEGI 1986), y el Atlas de Microsoft Encarta.

Para caracterizar las condiciones ambientales de los sitios de colecta de las razas de maíz, se utilizó el sistema de información ambiental nacional (SIAN) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Medina et al. 1998), el cual se encuentra compilado en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32 (Eastman 1999), en formato "raster" y bajo una resolución para la República Mexicana de 900 m.

### METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo planteado se desarrollaron las siguientes etapas:

a) CONFORMACIÓN DE MATRIZ DE DATOS GEORREFERENCIADOS. Esta etapa consistió en la elaboración de una matriz de datos con referencia geográfica (latitud, longitud) de cada uno de los puntos de colecta de las razas de maíz. Esta matriz de datos se hizo en Microsoft Excel. De manera previa a la

integración de la matriz de datos, se verificó la localización geográfica de los sitios de cada una de las colectas. Esto se realizó comparando los valores altitudinales reportados en campo para las colecciones, y los valores altitudinales que proporcionaba el sistema de información ambiental del INIFAP de acuerdo con las coordenadas de cada sitio de colecta. En la mayoría de los casos ambas fuentes coincidieron en cuanto a altitud; pero en otros casos no, por lo que se obtuvieron diferencias altitudinales de valor variable, lo cual señala la existencia de un posible error de monitoreo de la altitud o un posible error de registro de coordenadas del sitio de colecta. Se optó por deducir que es más probable cometer errores en la ubicación geográfica del sitio que en levantar su valor altitudinal, por lo que se dispuso a corregir las coordenadas de los sitios que presentaban una diferencia altitudinal de 150 m o más. La manera en que se hizo esta corrección fue localizar las coordenadas del sitio en la imagen altitudinal del SIAN y a partir de ahí mover el indicador del ratón en forma radial hasta localizar el sitio más cercano con esa altitud aproximada correspondiente con la altitud de campo. Las coordenadas de este sitio se tomaron como las correctas y se utilizaron para modificar la matriz de datos.

b) CARACTERIZACIÓN DE RANGOS CLIMÁTICOS DE ADAPTACIÓN DE RAZAS DE MAÍZ. Esta etapa implicó la localización o búsqueda de las coordenadas de cada uno de los sitios de colecta (de la matriz de la etapa anterior) en el SIAN. Las variables que se consideraron en esta caracterización son: temperatura media anual, temperatura media mayo-octubre, precipitación acumulada promedio anual, precipitación acumulada promedio mayo-octubre, altitud y tipo climático. Para la variable tipo climático se trabajó con el esquema de clasificación del INIFAP (Medina et al. 1998). Las posibles variantes climáticas bajo este esquema se describen en el cuadro 2.

c) OBTENCIÓN DE ÁREAS POTENCIALES DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE RAZAS DE MAÍZ. En esta etapa se determinaron las áreas potenciales de distribución de las razas bajo estudio. El procedimiento consistió en buscar qué áreas se encuentran dentro de los parámetros ambientales de adaptación de cada raza, determinados en el punto 2. Para esto se utilizó el SIG IDRISI32 y el SIAN del INIFAP.

## Resultados y discusión

### TIPOS CLIMÁTICOS DE DISTRIBUCIÓN DEL GRUPO RACIAL CÓNICO

De los 28 tipos climáticos existentes en el país (Medina et al. 1998), el Grupo Racial Cónico se encontró en 11 (cuadro 3). De estas 11 variantes climáticas, nueve son subtropicales con régimen térmico que en su mayoría va de templado a semicálido, y con régimen hídrico de árido a húmedo. Los dos climas restantes corresponden a tropicales con régimen térmico de semicálido a cálido y régimen hídrico de semiárido a subhúmedo. Atraen la atención las colectas hechas en ambientes áridos, lo que puede deberse a la toma de muestras de material genético en áreas aledañas a terrenos de regadío, como lo señalan Ruiz et al. (2001) para colectas de frijol silvestre.

La raza con una mayor distribución climática fue Chalqueño que se ha colectado en 10 ambientes, seguida por Cónico y Cónico Norteño, con nueve y ocho ambientes, respectivamente (cuadro 3). En contraste, la raza Palomero de Chihuahua sólo se encontró en dos ambientes. Esto podría deberse a un cierto endemismo por parte de estas razas (López et al. 2005), aunque también podría contribuir el número reducido de colectas que fueron consideradas (cuadro 1).

Esta adaptabilidad del Grupo Racial Cónico parece coincidir sólo en parte con la gran adaptabilidad ambiental de *Zea mays* señalada por diversos autores, quienes consignan la adaptación de este cultivo en zonas tropicales, subtropicales

Cuadro 2. Posibles tipos climáticos de la República Mexicana, según el esquema de clasificación climática INIFAP (Medina et al. 1998).

Tipo Climático	Temperatura del mes más frío (°C)	Número de meses húmedos	Temperatura media anual (°C)
Templado árido frío	< 5°C	0 (< 30 días)	< 5°C
Templado semiárido frío	< 5°C	1 a 3 (30 a 119 días)	< 5°C
Templado subhúmedo frío	< 5°C	4 a 6	< 5°C
Templado húmedo frío	< 5°C	> 6 meses	< 5°C
Subtrópico árido templado	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 5 y 18°C
Subtrópico semiárido templado	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 5 y 18°C
Subtrópico subhúmedo templado	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 5 y 18°C
Subtrópico húmedo templado	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 5 y 18°C
Subtrópico árido semicálido	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 18 y 22°C
Subtrópico semiárido semicálido	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 18 y 22°C
Subtrópico subhúmedo semicálido	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 18 y 22°C
Subtrópico húmedo semicálido	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 18 y 22°C
Subtrópico árido cálido	Entre 5 y 18°C	0 (< 30 días)	Entre 22 y 26°C
Subtrópico semiárido cálido	Entre 5 y 18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 22 y 26°C
Subtrópico subhúmedo cálido	Entre 5 y 18°C	4 a 6	Entre 22 y 26°C
Subtrópico húmedo cálido	Entre 5 y 18°C	> 6 meses	Entre 22 y 26°C
Trópico árido semicálido	>18°C	0 (< 30 días)	Entre 18 y 22°C
Trópico semiárido semicálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 18 y 22°C
Trópico subhúmedo semicálido	>18°C	4 a 6	Entre 18 y 22°C
Trópico húmedo semicálido	>18°C	> 6 meses	Entre 18 y 22°C
Trópico árido cálido	>18°C	0 (< 30 días)	Entre 22 y 26°C
Trópico semiárido cálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	Entre 22 y 26°C
Trópico subhúmedo cálido	>18°C	4 a 6	Entre 22 y 26°C
Trópico húmedo cálido	>18°C	> 6 meses	Entre 22 y 26°C
Trópico árido muy cálido	>18°C	0 (< 30 días)	>26°C
Trópico semiárido muy cálido	>18°C	1 a 3 (30 a 119 días)	>26°C
Trópico subhúmedo muy cálido	>18°C	4 a 6	>26°C
Trópico húmedo muy cálido	>18°C	> 6 meses	>26°C

y templadas de regiones entre los 50°N y 40°S (Doorenbos y Kassam 1979; González 1984; Purseglove 1985).

Al parecer el clima Subtrópico Semiárido Templado es el más propicio para el Grupo Racial Cónico, ya que es el único en el que se presentaron colectas de todas las razas (cuadro 3). Estas condiciones ambientales no concuerdan con las típicas de las regiones de origen del maíz, las cuales corresponden con condiciones tropicales de Mesoamérica (Fritz 1995),

o incluso regiones subtropicales pero con régimen cálido y semicálido (Hernández 1998).

#### INTERVALOS CLIMÁTICOS DE ADAPTACIÓN DE LOS GRUPOS RACIALES

En el cuadro 3 también se presentan los valores mínimos, máximos y medios de cinco variables ambientales obtenidos al caracterizar la climatología de los sitios de colecta de las diferentes razas. Los valores medios

Cuadro 3. Intervalos y tipos climáticos de distribución del Grupo Racial Cónico en la República Mexicana.

Raza	Altitud (msnm)		Temperatura media anual (°C)		Temperatura media Mayo-Octubre (°C)		Precipitación media Mayo-Octubre (mm)		Precipitación media anual (mm)		Tipos climáticos				
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA	MÍNIMO	MEDIA	MÍNIMO	MEDIA	MÍNIMO	MEDIA					
1. Atrocillo	1660	2814	11.9	19.4	15.9	12.7	20.2	16.7	400	2147	1018	462	2515	1290	9, 10, 11, 12, 14
2. Cacahuacintle	1960	2700	12.7	17.6	14.3	13.6	18.3	15.2	400	1407	726	471	1855	865	9, 10, 11, 12
3. Chalqueño	1780	2900	11.3	18.7	15.2	12.2	20.0	16.3	400	1899	698	436	2506	793	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 26
4. Cónico Norteño	1700	2670	12.6	18.8	16.6	14.0	17.3	16.9	400	1580	515	426	2110	580	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 26
5. Cónico	1700	2900	11.2	18.9	15	12.2	20.3	15.9	400	1899	716	462	2506	837	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 23
6. Maíz Dulce	1284	2090	16.2	21.2	18.4	18.8	24.6	21.1	421	850	619	489	911	691	9, 10, 11, 13, 14, 18, 26
7. Elotes Cónicos	1760	2700	12.7	18.5	15.6	13.6	20.1	16.6	400	1580	669	471	2169	772	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
8. Mushito	1705	2600	13.5	19.1	17.5	14.1	19.9	18.4	482	1927	1420	555	2386	1727	10, 11, 12, 15, 16
9. Palomero de Chih.	1964	2140	13.7	14.9	14.3	15.4	16.6	16	406	554	480	486	778	631	9, 10
10. Palomero Toluq.	2140	2887	11.4	15.9	13.5	12.0	16.9	14.6	406	1494	704	486	1960	846	9, 10, 11, 12, 16

TIPOS CLIMÁTICOS DE MEXICO (Medina et al. 1998).

5	Templado árido frío	12	Subtrópico húmedo templado	19	Subtrópico subhúmedo cálido	26	Trópico semiárido cálido
6	Templado semiárido frío	13	Subtrópico árido semicálido	20	Subtrópico húmedo cálido	27	Trópico subhúmedo cálido
7	Templado subhúmedo frío	14	Subtrópico semiárido semicálido	21	Tropico árido semicálido	28	Tropico húmedo cálido
8	Templado húmedo frío	15	Subtrópico subhúmedo semicálido	22	Tropico semiárido semicálido	29	Tropico árido muy cálido
9	Subtrópico árido templado	16	Subtrópico húmedo semicálido	23	Tropico subhúmedo semicálido	30	Tropico semiárido muy cálido
10	Subtrópico semiárido templado	17	Subtrópico árido cálido	24	Tropico húmedo semicálido	31	Tropico subhúmedo muy cálido
11	Subtrópico subhúmedo templado	18	Subtrópico semiárido cálido	25	Tropico árido cálido	32	Tropico húmedo muy cálido

son el promedio obtenido de los valores de las colectas de la raza estudiada y los valores tanto máximo como mínimo son las condiciones extremas dónde se desarrollan las muestras de cada raza. De esta forma, tales valores extremos, representan los límites climáticos de distribución de las razas estudiadas (López et al. 2005).

Con respecto a la altitud promedio de las razas (cuadro 5), y si se considera la clasificación de materiales de maíz con base a altitud por parte de los fitomejoradores en México (cuadro 4) se aprecia que Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico, Elotes Cónicos y Palomero Toluqueño pueden ser consideradas como razas de valles altos, mientras que Cónico Norteño, Mushito y Palomero de Chihuahua se podrían clasificar como de ambiente transicional, y Maíz Dulce como raza subtropical.

Cuadro 4. Estratificación ambiental por altitud utilizada de manera tradicional por los mejoradores genéticos del maíz en México.

Ambiente	Clave	Altitud
Zona Tropical	1	0-1000 m
Zona Subtropical	2	1000 - 1900 m
Zona de Transición	3	1900 - 2200 m
Zona de Valles Altos	4	2200-3000 m

Con respecto a la caracterización de la precipitación pluvial de los sitios de colecta, el cuadro 3 muestra también los valores mínimos y máximos de precipitación acumulada identificados en el período mayo-octubre de los sitios de colecta. Ahí se puede observar que todas las razas registraron un valor mínimo de precipitación mayo-octubre entre 400 y 483 mm; cantidad inferior a los 500 mm, señalada por Doorenbos y Kassam (1979) como el mínimo de lluvia requerido por ciclo, para el desarrollo adecuado del maíz tradicional. Esto tal vez señala un efecto de aclimatación al que se ha sometido el maíz al ser forzado a producir fuera de sus áreas de origen. Este efecto es común en muchas especies y produce entre otras co-

sas, la modificación de los requerimientos agroecológicos de las especies vegetales (Ruiz et al. 1999).

Las razas con el mínimo de precipitación mayo-octubre más bajo (cuadro 3) fueron Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico Norteño, Cónico y Elotes Cónicos, ubicándose en 400 mm. Este nivel de precipitación parece demasiado bajo para que el maíz complete su ciclo de desarrollo, por lo que la única explicación es que algunas de las colecciones que proporcionaron este dato de lluvia fueron colectadas de semilla producida en áreas de riego o humedad residual situación que ya ha sido reportada con anterioridad (Sánchez et al. 2000; Ruiz et al. 2001).

Con base en el valor medio de la temperatura media anual de los sitios de colecta de cada raza (cuadro 3) y con base en la clasificación de zonas térmicas señalada por Medina et al. (1998), las razas se pueden considerar como de régimen templado (12 a 18 °C), excepto la raza Maíz Dulce que se clasificaría como de régimen semicálido (18 a 22 °C).

En el cuadro 3 también se puede apreciar que las razas que han sido colectadas a las más bajas temperaturas medias anuales son Cónico Norteño (12.6 °C), Cónico (11.2 °C), Chalqueño (11.3 °C), Palomero Toluqueño (11.4 °C) y Arrocillo (11.9 °C). Algunas de estas razas en coincidencia, presentan los valores más bajos de temperatura base encontradas en razas mexicanas por Ruiz et al. (1998). De acuerdo con estos autores, Cónico Norteño tiene una temperatura base de 6.5 °C, mientras que para Cónico, Chalqueño, Palomero Toluqueño y Arrocillo es de 2.0, 2.5, 5.0 y 5.0 °C, respectivamente. Estos valores, con mucha probabilidad, señalan la tolerancia a bajas temperaturas por parte de estos materiales (Ruiz et al. 1998).

#### DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL Y POTENCIAL DEL GRUPO RACIAL CÓNICO

En la figura 1 se muestran las áreas de distribución actual y potencial de las 10 razas

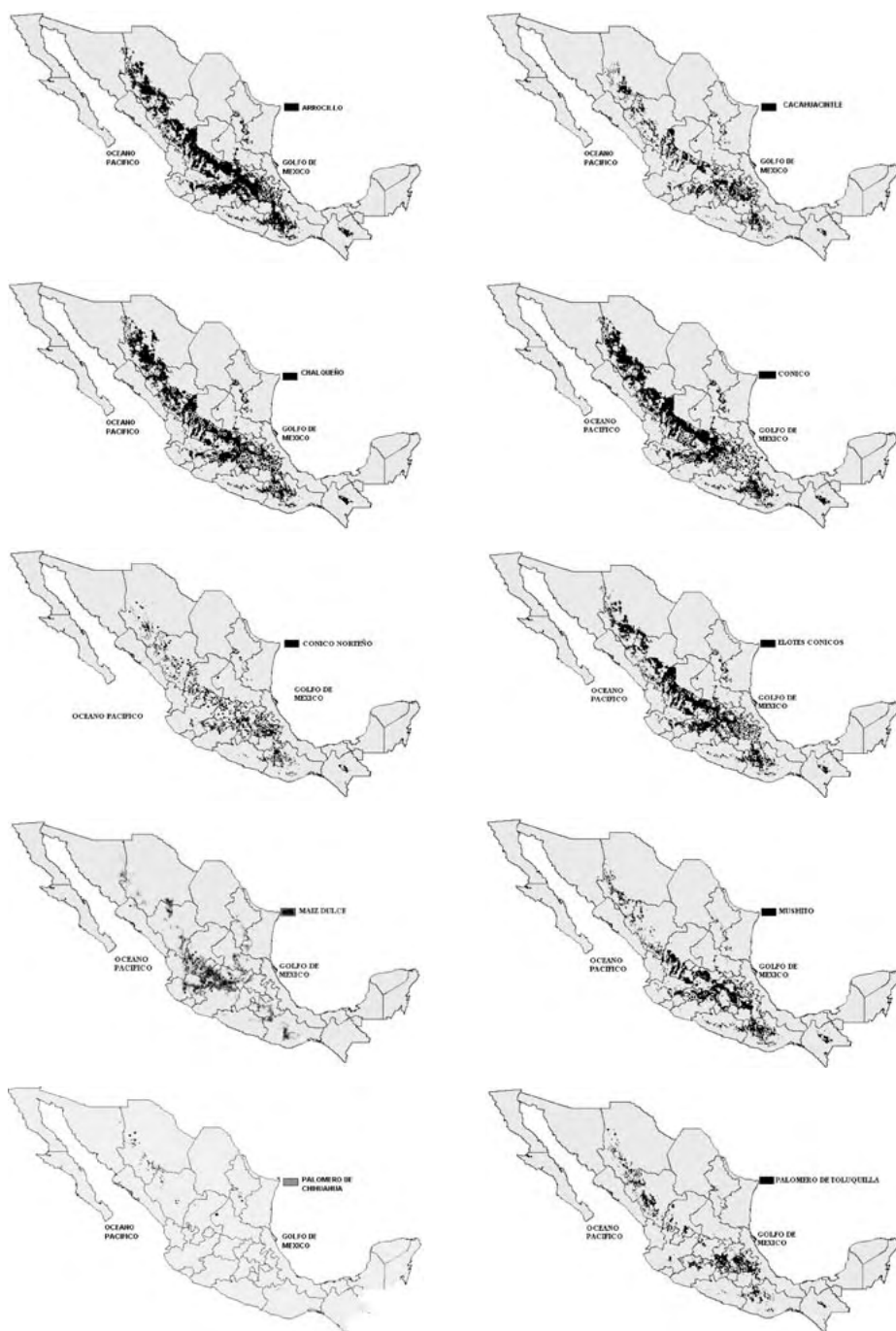


Figura 1. Áreas potenciales y actuales de distribución del Grupo Racial Cónico.

de maíz estudiadas. Las áreas potenciales de distribución son producto de la búsqueda geográfica de los rangos climáticos de distribución de las razas, los cuales se reportan en el cuadro 3. Esta búsqueda, como se describe en el capítulo de materiales y métodos, se realizó mediante el sistema IDRISI32 y utilizando como fuente de información geográfica el SIAN del INIFAP (Medina et al. 1998).

Como puede verse en dicha figura, la distribución geográfica potencial de las razas presenta un patrón más o menos común para todas las razas, el cual consiste en la concentración de áreas potenciales de distribución en la región centro y región occidente del país, con algunas áreas en la porción sureste del territorio, y con mayor o menor abundancia de las áreas potenciales en función de la raza.

En el caso de Palomero de Chihuahua, el número reducido de colecciones (3) de esta raza (cuadro 1) afectó su potencial de distribución en el país (figura 1). Esto es, que las características ambientales donde se realizaron estas muestras no se repiten con facilidad en el resto del territorio mexicano. Esto señala un probable endemismo, el cual se produce y se ha documentado para diversas especies de plantas (López et al. 2005). En contraparte, la raza Chalqueño presentó la mayor extensión de áreas potenciales de distribución, lo cual es una consecuencia de sus intervalos climáticos (cuadro 3), que en términos generales resultaron más amplios en comparación con el resto.

En todas las razas estudiadas, es apreciable que las áreas potenciales de distribución son más extensas que las áreas donde se ubican puntos de colecta, lo cual denota posibilidades de encontrar ejemplares de dichas razas en otras áreas de donde hasta la fecha se han reportado. La realización de un mayor número de colecciones, sobre todo en las razas que presentan hasta hoy un número reducido de éstas, contribuiría a precisar la caracterización de los rangos climáticos de adaptación de las razas y con ello a lograr una mejor ca-

racterización de las áreas actuales y potenciales de distribución de las razas de maíz. Así, es visible por ejemplo que las razas Cónico, Elotes Cónicos, Arrocillo, Mushito y Cacahuacintle han sido colectadas en su mayoría en la parte centro y sur del país, y no en la zona norte en donde se presenta un amplio potencial de distribución.

## Conclusiones

El Grupo Racial Cónico se distribuye en 11 de las 28 variantes climáticas del país, siendo el único tipo climático que registra la presencia de todas las razas de este grupo, el Subtrópico Semiárido Templado.

La raza con un mayor ámbito de distribución es Chalqueño, ya que se adapta a 10 de las 11 tipos climáticos es que se distribuye el Grupo Cónico. Ligado a ello, esta raza también presentó los más amplios intervalos climáticos, lo que a su vez produjo áreas potenciales de distribución de mayor extensión territorial.

Las áreas potenciales de distribución de las razas del Grupo Cónico señalan la posibilidad de coleccionar nuevo material en áreas en las que hasta la fecha no han sido reportadas.

## Bibliografía

- Carroll, C.W., J. Ziefiski and R.F. Noss.** 1999. Using presence-absence data to build and test spatial habitat models for the fisher in the Klamath Region, USA. *Conserv. Biol.* **13**: 1344-1359.
- Cocks, P.S. and T. Ehrman.** 1987. The geographic origin of frost tolerance in Siberian pasture legumes. *J. Appl. Ecol.* **24**: 673-683.
- Cowley M., J.R., R.J. Wilson, J.L. León-Cortez, D.C. Gutiérrez, R. Bulman and C.D. Thomas.** 2000. Habitat-based statistical models for predicting the spatial distribution of butterflies and day-flying moths in a fragmented landscape. *J. Appl. Ecol.* **37**: 60-72.
- Doorenbos, J. y A.H. Kassam.** 1979. *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33. FAO. Roma. 212 pp.

- Eastman, J.R.** 1999. *Idrisi32. Guide to GIS and image processing*. Volumen 2. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA. 169 pp.
- Fritz, G.** 1995. New dates and data on early agriculture: the legacy of complex hunter gatherers. *Ann. Missouri Bot. Gard.* **82**: 3-15.
- González de C., M.** 1984. *Especies Vegetales de Importancia Económica en México*. Ed. Porrúa. México, D. F. 305 pp.
- Guarino, L., A. Jarvis, R.J. Hijmans and N. Maxted.** 2002. Geographic information systems and the conservation and use of plant genetic resources. In: *Managing Plant Genetic Diversity*. J. M. M. Engels, J. R. Rao, A. H. D. Brown, M. T. Jackson (eds). CABI Publishing. New York, USA. pp: 387-404.
- Hawtin, G., M. Iwanaga M. and T. Hodgkin.** 1996. Genetic resources in breeding for adaptation. *Euphytica* **92**: 255-266.
- Hernández X., E.** 1998. Aspectos de la domesticación de las plantas en México: Una apreciación personal. pp. 715-735, En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, J. Fa (compiladores). *Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI.** 1986. *Nomenclátor de la Síntesis Geográfica Estatal (SIGE) de los estados de México, Jalisco, Puebla, Oaxaca, Durango, Sinaloa, Chihuahua, San Luis Potosí, Michoacán, Chiapas, Veracruz*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México, D.F.
- INEGI.** 2003. *Estadísticas económicas*. Volumen de la producción agrícola por entidad federativa. SAGARPA-SIACON. México, D. F. pp. 570.
- LAMP.** 1991. *Catálogo del Germoplasma de Maíz*. Tomos I y II. Proyecto Latinoamericano de Maíz. USDA-ARS.
- Lobo B., M., C.M. Torres C., J.R. Fonseca, R.A. Martins P. de M., R. de Belem N.A. and T. Abadie.** 2003. Characterization of germplasm according to environmental conditions at the collecting site using GIS - two case studies.
- Manel, L., T.M. Brooks and S.L. Pimm.** 1999. Relative risk of extinction of passerine birds on continents and islands. *Nature* **399**: 258-261.
- Medina G., G., J.A. Ariel Ruiz C. y R.A. Martínez P.** 1998. *Los climas de México: Una estratificación ambiental basada en el componente climático*. Libro técnico núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. México. 103 pp.
- Morales R., M.M.** 2005. *Análisis genético de cruzas dialélicas entre y dentro de poblaciones de maíz adaptadas y exóticas*. Tesis de Doctorado. Universidad de Guadalajara.-CUCBA. Zapopan, Jalisco. 198 pp.
- Peterson, A., T. Navarro-Sigüenza and H. Benítez-Díaz.** 1998. The need for continued scientific collecting: A geographic analysis of Mexican bird specimens. *Ibis* **140**: 288-294.
- Purseglove, J. W.** 1985. *Tropical crops: Monocotyledons*. Longman Scientific and Technical. New York, USA. 607 pp.
- Ron P., J., J.J. Sánchez G., A.A. Jiménez C., J.A. Carrera V., J.G. Martín L., M.M. Morales R., L. de la Cruz L., S.A. Hurtado P., S. Mena M. y J.G. Rodríguez F.** 2006. Maíces nativos del Occidente de México. I. Colectas 2004. *Scientia CUCBA* **8**(1): 1-139.
- Ruiz C., J.A., J.J. Sánchez G. and M.M. Goodman.** 1998. Base temperature and heat unit requirement of 49 Mexican maize races. *Maydica* **43**: 277-282.
- Ruiz C., J. A., G. Medina G., I. J. González A., C. Ortiz T., H. E. Flores L., R. A. Martínez P. y K. F. Byerly M.** 1999. *Requerimientos agroecológicos de los cultivos*. Libro técnico Núm. 3. INIFAP-CIRPAC. 1ª Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jal., México. 324 pp.
- Ruiz C., J.A., J.J. Sánchez G. y M. Aguilar S.** 2001. Potential geographical distribution of teosinte in México. A GIS approach. *Maydica* **46**: 105-110.
- Sánchez G., J. J. and M. M. Goodman.** 1992. Relationships among Mexican and some North American and South American races of maize. *Maydica* **37**: 41-51.
- Sánchez G., J. J. and J. A. Ruiz C.** 1995. Teosinte distribution in México. In: *Gene flow among maize landraces, improved maize varieties, and teosinte: Implication for transgenic maize*. In: J.A. Serratos, M.C. Willcox & F. Castillo (eds.). México, D.F. CIMMYT. pp: 18-39.
- Sánchez G., J.J., M.M. Goodman and C.W. Stuber.** 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* **54**(1): 43-59.



# Caracterización de una composta de residuos sólidos municipales y su uso en la producción de maíz

**Marcos Rafael Crespo González, Diego Raymundo González Eguiarte, Ricardo Nuño Romero y Ernesto Alonso Miramontes Lau**

Departamento de Desarrollo Rural Sustentable, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales. Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal. CP 45101, AP 39-82, CP 44171.  
Correo electrónico: mcrespo@cucba.udg.mx

**Resumen:** Con el objeto de comparar los efectos de la aplicación de composta producida por residuos sólidos municipales (RSM) de Tonalá, Jalisco, México, se realizó una investigación sobre producción de grano de maíz en un suelo franco arenoso con baja fertilidad. Se establecieron dos experimentos con un diseño de bloques completos al azar bajo dos ambientes: 1) composta con 50% de fertilizante y, 2) composta sin fertilizante. En cada caso se probaron cinco tratamientos con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron tres dosis de composta (10, 20 y 30 t ha<sup>-1</sup>), un testigo absoluto (To) y el tratamiento tradicional de la región, sólo con fertilizantes (T1). Los resultados obtenidos mostraron que la composta no presentó restricciones para uso agrícola, aunque algunos parámetros fueron más bajos de lo deseable: P y K, C/N y humedad. El contenido de Zn, Pb, Cd, Hg, Ni y Cr no alcanzó niveles de riesgo; tampoco los coliformes fecales, *Salmonella* sp. y huevos de helminto. En el Experimento 1, todos los tratamientos de composta y el T1 resultaron estadísticamente iguales ( $p < 0.05$ ). En el Experimento 2 el testigo con fertilizante (T1) y las dosis de composta no fueron estadísticamente diferentes entre sí ( $p < 0.05$ ). El rendimiento de grano se incrementó cuando los tratamientos incluyeron el 50% del fertilizante. Es posible reducir o incluso sustituir el uso de fertilizantes químicos con el uso de composta, pero hay una mejor respuesta utilizando composta de RSM con 50% del fertilizante.

**Palabras clave:** composta de RSM, composta de residuos urbanos, reciclaje orgánico.

**Abstract:** Composting is a recommended technology to utilize the organic fraction of municipal solid wastes (MSW). Some authors confirm that MSW compost may be used in corn production and can reduce up to 50% of fertilizer application. In this research project the MSW compost produced in Tonalá, State of Jalisco, Mexico, was studied, and its effects on corn grain yields were compared with two forms of MSW compost application. Two trail plots were placed in sandy loam soils with low fertility using a randomized blocks design: one using compost with 50% fertilizer and the other, compost without fertilizer. In each case five treatments with four repetitions were tested. The treatments were three doses of compost (10, 20 and 30 Mg ha<sup>-1</sup>), an absolute (To) and the traditional treatment of the region, only with fertilizers (T1). The results yielded demonstrated that, compared to the standards, MSW compost was not restricted to agricultural purposes although P, K, C/N and moisture content were lower than expected. Heavy metals: Zn, Pb, Cd, Hg, Ni and Cr had no environmental risks neither did the fecal coliforms, *Salmonella* sp. and helminths eggs. In both experiments the three compost rates were similar to T1 ( $p = 0.05$ ). However, grain yields were higher combining MSW compost with 50% fertilizer. It is possible to reduce or substitute the use of fertilizers by applying MSW compost, but it is better to combine both materials.

**Key words:** MSW compost, urban wastes compost, organic recycling.

## Introducción

En México, la basura urbana representa un riesgo importante de contaminación ambiental, a causa del manejo a que por tradición se somete para su eliminación a través de la incineración o depósito en rellenos sanitarios.

El problema del manejo de la basura urbana, también llamada "residuos sólidos municipales" (RSM), puede resolverse incorporando lo mejor posible los materiales de desecho a los ciclos naturales. Uno de los métodos más antiguos y naturales que se conocen para el reciclaje de la fracción orgánica de los RSM es el compostaje (Fricke et al. 1989). El compostaje de RSM presenta ventajas sobre los métodos tradicionales de incineración y rellenos sanitarios debido a costes de operación más reducidos, menor contaminación ambiental y la utilidad del producto final que es la composta (He et al. 1992).

Según Brinton y Brinton (1992), el compostaje se originó en el período comprendido entre mediados de los años cuarentas hasta inicios de la posguerra. El diseño de las plantas de tratamiento de RSM europeas se esparció por todo el mundo y alcanzó su máxima expresión a finales de los años sesentas. Posteriormente, se dio un decremento en el número de plantas y hasta 1992 sólo existían la mitad de las que había a comienzos de los años setentas.

En México, González y Morales (2002) reportaron que desde 1974 han existido varias plantas productoras de composta de RSM, pero que hasta la fecha no funcionan a toda su capacidad a causa de la falta de incentivos y tecnología adecuada. Estos autores señalaron que ahora existen tres empresas que la producen, y que se localizan en la Ciudad de México, en Mérida, Yucatán y en Tonalá, Jalisco.

La planta "Los Laureles" de Tonalá recibe a diario 850 toneladas de basura, de las cuales alrededor de 0.12% es convertido en composta; el 2% lo constituyen subproductos inorgánicos recuperados para su reutilización y el 97.8% restante se depo-

sita en un relleno sanitario (Altamirano 2004).

La composta de RSM es un producto que sirve para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas, y por tanto, puede ser un medio natural eficaz para incrementar la producción de alimentos (Díaz et al. 1993; Maynard 1995; Aggelides y Londra 2000; Khalilian et al. 2002).

La aplicación de composta de RSM en el cultivo de maíz ha tenido resultados contrastantes. Por ejemplo, Martínez (1975), en un trabajo experimental realizado en Zapopan, Jalisco, no encontró una respuesta estadísticamente significativa ( $p=0.05$ ) en el rendimiento de grano con la aplicación de composta, ni siquiera combinando altas dosis de ésta ( $20 \text{ t ha}^{-1}$ ) con fertilizantes. Sin embargo, Díaz et al. (1993) documentaron que una dosis adecuada de composta de RSM puede darse entre  $11$  y  $22 \text{ t ha}^{-1}$  por año, o entre  $22$  y  $33 \text{ t ha}^{-1}$  por cada dos o tres años para obtener buenos resultados en la producción de maíz.

Por otro lado, Mamo et al. (1999) observaron la mejor respuesta en un experimento de tres años con maíz, al aplicar la dosis de  $90 \text{ t ha}^{-1}$  de composta de RSM por año y la mitad de la dosis de fertilizante ( $125 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Varios autores sostienen que cuando la composta se aplica con fertilizantes se produce un efecto sinérgico, es decir, se puede reducir el gasto de fertilizantes por la razón de que las plantas los aprovechan mejor. Shiralipour et al. (1992), por ejemplo, señalaron que en la mayoría de los casos el incremento del rendimiento es mayor cuando la aplicación de composta se combina con los fertilizantes. Por su parte, Garland et al. (1995) consiguieron que el uso de composta permitió reducir el requerimiento de fertilizantes hasta alrededor del 50%, mientras que la Environmental Protection Agency (EPA 1998) manifestó que la reducción es de al menos 15 a 20%.

En México, la investigación agrícola de compostas de RSM ha sido hasta ahora muy limitada; por esta razón, se descono-

ce en qué medida pueden esperarse sus efectos benéficos en el suelo y en el rendimiento de cultivos. Tampoco se conocen los niveles de riesgo de su uso, cuando la presencia de metales pesados y microorganismos patógenos, propios de la materia prima de la cual se originan pudieran, eventualmente, sobrepasar los límites ecológicos aceptables.

En vista de lo anterior, surgió el interés de realizar la presente investigación, para lo cual se recibió apoyo de la empresa Caabsa Eagle, S.A., productora de composta en Tonalá, Jalisco.

Los objetivos fueron los siguientes: 1) caracterizar la composta de RSM producida en Tonalá con respecto a los siguientes parámetros: algunas propiedades físicas y químicas, niveles de contaminación por metales pesados, así como poblaciones de patógenos y parásitos y, 2) evaluar los efectos de la aplicación de composta de RSM con y sin fertilizantes en la producción de grano de maíz.

Como hipótesis se plantearon las siguientes: 1) la composta estudiada presenta características físicas, químicas y biológicas que la hacen propicia para su uso en la agricultura; y 2) la adición de composta de RSM al suelo favorece la producción de grano de maíz y su aplicación permite reducir de manera notable el uso de fertilizantes.

## Materiales y métodos

### DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en el campo experimental del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara. El clima de la región tiene una temperatura media anual de 19.6 °C y una precipitación media anual de 979.6 mm. Los valores de temperatura y precipitación durante el período de evaluación, el cual comprendió entre junio y diciembre del 2004 (Base

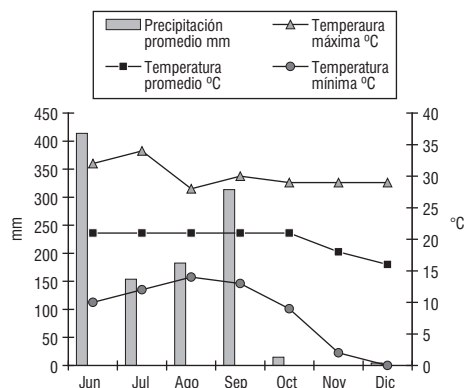


Figura 1. Variación de la temperatura y precipitación pluvial durante el período de prueba.

Aérea Militar N° 5, 2006), se presentan en la figura 1.

El suelo del sitio experimental se clasifica como Regosol eutrítico (INEGI 1975), es predominantemente plano, se encuentra a una altitud de 1670 msnm y tiene una pendiente menor al 3%. De acuerdo al análisis previo del suelo, realizado en el Laboratorio de Suelos del (CUCBA), se determinó que la textura es franco arenosa.

Por otra parte, un análisis químico efectuado en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), practicado en cuatro muestras compuestas de suelos, arrojó los resultados que se presentan en el cuadro 1; también se indican los métodos de análisis utilizados.

En función de los datos anteriores, y de acuerdo a los criterios de fertilidad de Daniels y Miramontes (1992), se dedujo que la fertilidad del suelo del sitio experimental fue baja, por lo que pudieran esperarse respuestas por parte de un cultivo como el maíz a la aplicación de fertilizantes químicos y mejoradores de suelos.

### CARACTERÍSTICAS DEL MAÍZ UTILIZADO

Se empleó maíz híbrido LUCERO 901 del Centro de Investigación y Producción de Semillas (CIPROS) del CUCBA de la Universidad de Guadalajara. Este material

es de ciclo intermedio, con 70 a 75 días a la floración y 135 a 140 días a la cosecha, y es tolerante a la sequía. Produce en promedio 6 a 7 t ha<sup>-1</sup> de grano en la zona, dependiendo de las condiciones ambientales y el manejo del cultivo.

Cuadro 1. Resultados del análisis químico inicial del suelo.

Determinación	Método	Promedio
pH	Potenciométrico	5.4
ClC (meq/100g)	Acetato de amonio	3.1
MO %	Walkley & Black	1.8
C <sub>org</sub>	Calculado <sup>1</sup>	1.0
N <sub>total</sub>	Calculado <sup>2</sup>	0.1
C:N	Calculado <sup>3</sup>	11.6
P ppm	Bray 1	161.8
K ppm	Mehlich III	234.3
S ppm	Mehlich III	49.9
Ca ppm	Mehlich III	568.0
Mg ppm	Mehlich III	25.4

1) M.O./1.724; 2) Corg/11.6; 3) Corg/N

#### CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSTA DE RSM AL SALIR DE LA PLANTA LOS LAURELES

La composta de RSM presentó un color castaño oscuro y una consistencia muy fina y pulverulenta; estaba casi seca y con una cantidad mínima de inertes (plásticos, vidrio y metal), debido a que el material es cribado en la fase final del proceso de compostaje. De acuerdo con la empresa fabricante, el producto se sometió a un proceso de compostaje de 75 días, en pilas de alrededor de 2.5 a 3 m de altura y de 3 a 4 m de diámetro, las cuales fueron volteadas de forma regular con pala mecánica para controlar la aireación y humedad del material.

#### DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA COMPOSTA

Las variables analizadas y los métodos utilizados para la caracterización de la composta se muestran en el cuadro 2.

Los metales Zn, Pb, Cd, Hg, Ni y Cr se determinaron, como ya se apuntó arriba, mediante la técnica de absorción atómica en el CIATEJ. Por otra parte, los análisis para determinar patógenos fueron los señalados por la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001 para lodos y biosólidos, y fueron llevados a cabo también en el CIATEJ. Estos se enlistan en el cuadro 3.

Cuadro 2. Análisis químicos y físicos de la composta y sus técnicas de determinación realizadas en el CUCBA.

Determinación	Técnica
pH	Potenciómetro en agua desionizada 1:5
MO	Walkey-Black
Carbono orgánico	Walkey-Black
Nitrógeno total	Khjeldahl
C/N	Calculado
Ca	Método de ceniza seca
P	Fotométrico
K	Flamometría
CE	Conductímetro
Humedad	Gravimétrico
Tamaño de partículas	Granulométrico : Tamices malla 16,18, 40, 60 y 100

Cuadro 3. Técnicas para la determinación de patógenos en lodos y biosólidos.

Determinación	Técnica
Coliformes totales	NOM-AA-042
Coliformes fecales	NOM-AA-042
<i>Escherichia coli</i>	NOM-145-SSA1-1995
<i>Salmonella</i> sp.	NOM 003-ECOL-1996
Huevos de helmintos	NOM 003-ECOL-1996

#### DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS EN CAMPO

Se utilizó el diseño experimental de Bloques Completos al Azar. La composta se aplicó en banda de manera superficial, sin incorporar al suelo y bajo dos ambientes de prueba (experimentos): 1) Composta con el 50% del fertilizante recomendado en la región; y 2) Composta sin fertilizante.

En cada uno de los ambientes se ensayaron cinco tratamientos (cuadros 4 y 5) con cuatro repeticiones, constando de 20 unidades experimentales de 24 m<sup>2</sup> cada una (5.00 × 4.80 m).

Para la evaluación del rendimiento del maíz, se cosecharon seis metros de hileras de plantas con competencia completa. La variable de estudio fue la cantidad de grano (al 14% de humedad) producida por unidad de superficie de cada tratamiento y ambiente de prueba.

El terreno se rastreó de manera cruzada a mediados de junio del 2004. La siembra se realizó el día 2 de julio del mismo año con el temporal de lluvias establecido. La densidad de población fue de 80 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

La primera fertilización y la aplicación de composta se realizaron diez días después de la siembra en los tratamientos programados y con las plantas emergidas. Ambos materiales se aplicaron a chorrillo a 10 cm de distancia de las hileras de plantas. Únicamente el fertilizante se incorporó al suelo.

Como fertilizantes se utilizaron urea y fosfato diamónico (18-46-00). La segunda fertilización se hizo con urea sin incorporar al momento de la aparición de la quinta hoja verdadera. La cosecha del grano se llevó a cabo a principios de enero del 2005.

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

A los datos de rendimiento de grano de cada uno de los dos experimentos se les aplicó un análisis de varianza para detectar el efecto de los tratamientos con un nivel de significancia del 5%. Las comparaciones específicas entre tratamientos se realizaron mediante contrastes ortogonales. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis conjunto que incluyó a los dos ambientes (experimentos) siguiendo la metodología descrita por Martínez (1988), en la cual se

Cuadro 4. EXPERIMENTO 1: Tratamientos con aplicación de composta en banda sin incorporar al suelo y 50% de fertilizante.

Clave de los tratamientos	Descripción de los tratamientos	Fórmula de fertilización	Fertilización nitrogenada		Fertilización fosfatada
			1ª Aplicación	2ª Aplicación	1ª Aplicación
T1	Sólo fertilizante	180-90-00*	90	90	45
T0	Sin fertilizante y sin composta	00-00-00	0	0	0
T10	10 t ha <sup>-1</sup> de composta	90-45-00	45	45	45
T20	20 t ha <sup>-1</sup> de composta	90-45-00	45	45	45
T30	30 t ha <sup>-1</sup> de composta	90-45-00	45	45	45

\*Fórmula aplicada por los productores de la región.

Cuadro 5. EXPERIMENTO 2: Tratamientos con aplicación de composta en banda sin incorporar al suelo y sin fertilizante.

Clave de los tratamientos	Descripción de los tratamientos	Fórmula de fertilización	Fertilización nitrogenada		Fertilización fosfatada
			1ª Aplicación	2ª Aplicación	1ª Aplicación
T1	Sólo fertilizante	180-90-00*	90	90	45
T0	Sin fertilizante y sin composta	00-00-00	0	0	0
T10	10 t ha <sup>-1</sup> de composta	00-00-00	0	0	0
T20	20 t ha <sup>-1</sup> de composta	00-00-00	0	0	0
T30	30 t ha <sup>-1</sup> de composta	00-00-00	0	0	0

\*Fórmula aplicada por los productores de la región.

valora la interacción entre tratamientos y ambientes; así como la diferencia entre ambientes. Además, se trató de ajustar a una función cuadrática la relación entre la cantidad de composta aplicada y el rendimiento.

## Resultados y discusión

### CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSTA DE RSM

Los resultados referentes a la caracterización de la composta de RSM se presentan en el cuadro 6.

El análisis de la composta de RSM reflejó que el material sí podría tener uso agrícola. Cuatro estándares se ubicaron debajo del rango que la fuente bibliográfica establece como adecuado: relación C/N, humedad, fósforo y potasio (Scottish Agricultural College 2001).

El tamaño de las partículas de composta de RSM se presenta en la figura 2, se observó que el 82.5 % del material se clasificó como muy fino (diámetro < 1.0 mm) y el resto como fino  $\geq$  a 1.0 mm.

La notoria dominancia de la textura muy fina del material compostado y el bajo contenido de humedad (21.5%), provocó

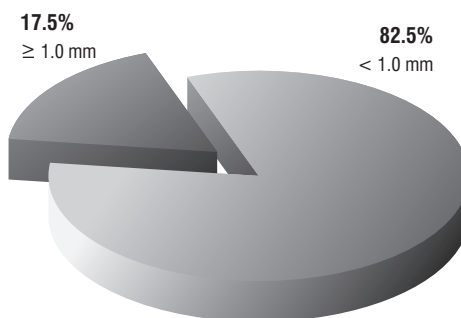


Figura 2. Distribución del tamaño de las partículas de composta de RSM de la planta "Los laureles".

que la composta de RSM fuera muy pulverulenta y de difícil manejo en campo.

De acuerdo al Natural Resources, Agriculture and Engineering Service (NRAES 1999), el tamaño recomendable de partículas de composta debe ser menor a 12.7 mm, mientras que el US Composting Council (2007) sugiere que si una composta se usa con el propósito de mejorador de suelos, el tamaño de partícula debe encontrarse entre 9.5 y 12.7 mm, y el contenido de humedad entre 40 y 50%. Según Tester et al. (1980), la composta cribada a un tamaño menor que 1.0 mm tiene una tasa

Cuadro 6. Caracterización química de la composta de RSM.

Determinación	Método	Resultado	Interpretación*
pH	Potenciómetro en agua desionizada 1:5	7.92	Normal
MO	Walkey-Black	34.42	Normal
C orgánico	Vía MO	11.02 %	Normal
Nitrógeno total	Khjeldahl	1.63 %	Normal
C/N	Aritmético	6.76	Bajo
Humedad	Gravimétrico	21.5 %	Muy seco
CE mmhos/cm	Conductímetro	4.0	Normal
Fósforo %	Fotométrico	0.55	Bajo
Potasio	Extractable en agua	0.24	Bajo
Calcio %	Ceniza seca	4.27	Normal

\* Fuente: Scottish Agricultural College (2001)

de mineralización tres veces mayor que la tamizada a 10 mm, en tanto que la relación C/N de la composta de 10 mm alcanza un valor de 14.7 y la de 1.0 mm de 10.4. Dado que el tamaño de la partícula en el 82.5% de la composta utilizada en la presente investigación fue menor a 1.0 mm, es ésta una causa posible de un efecto limitado.

El contenido de metales pesados (Zn, Pb, Cd, Hg, Ni y Cr), en la composta de RSM se muestra en el cuadro 7. Ninguno de estos valores supera los niveles considerados como tóxicos (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001; lodos y biosólidos).

En el cuadro 8 se presentan los resultados del análisis de patógenos detectados en la composta. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001 para lodos y biosólidos, el material no presenta riesgos para la salud de los consumidores de productos agrícolas obtenidos con el uso de estos materiales.

#### EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN EL RENDIMIENTO DEL GRANO DE MAÍZ

Los resultados referentes al rendimiento de grano de maíz se presentan por experimento y posteriormente en un análisis conjunto.

Cuadro 7. Contenido de metales pesados en la composta de RSM.

Metales*	Resultado	Límites permisibles**		Interpretación
		Bueno	Excelente	
Zinc	1010	7 500	2 800	Sin riesgo
Plomo	265	840	300	Sin riesgo
Cadmio	2.80	85	39	Sin riesgo
Mercurio	< 0.02	57	17	Sin riesgo
Níquel	47.9	420	420	Sin riesgo
Cromo	49.80	3 000	1 200	Sin riesgo

\* Técnica de análisis: Absorción atómica en base seca.

\*\* Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001. Lodos y Biosólidos.

Cuadro 8. Caracterización microbiológica de organismos patógenos de la composta de RSM.

Organismo	Método	Resultado	Límites permisibles*		Interpretación
			Clase A	Clase B	
Coliformes fecales	NOM-AA-042	150 NMP/g	<1000	<2 millones	Sin riesgo
<i>Salmonella</i> sp.	NOM 003-ECOL-1996	Ausencia	<3	<10	Sin riesgo
Huevos de helmintos	NOM 003-ECOL-1996	2-3 / kg	<10	<35	Sin riesgo
Coliformes totales	NOM-AA-042	210 NMP/g	SD	SD	----
<i>Escherichia coli</i>	NOM-145-SSA1-1995	<3 NMP/g	SD	SD	----

\* Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001. Lodos y biosólidos

SD: Sin datos disponibles

Cuadro 9. Rendimiento promedio de grano del Experimento 1.

Tratamientos	Grano t ha <sup>-1</sup>
T0	4.81
T1	6.54
10 t ha <sup>-1</sup>	6.84
20 t ha <sup>-1</sup>	7.25
30 t ha <sup>-1</sup>	7.41

**EXPERIMENTO 1:** Composta en banda, sin incorporar y con el 50% del fertilizante.

En el cuadro 9 se muestran los valores de grano promedio para los tratamientos. En principio, se observa que a los mayores niveles de composta corresponden los más altos rendimientos. Así mismo, la aplicación de fertilizante incrementó el rendimiento.

En el cuadro 10 se muestra el análisis de varianza del experimento 1.

El efecto de los tratamientos en el rendimiento de grano fue altamente significativo ( $p < 0.01$ ); el valor del coeficiente de variación (CV) 14.05%. El análisis de contrastes ortogonales (cuadro 11) dio por resultado que las tres dosis de composta y el tratamiento con fertilizante (T1) fueron superiores al testigo T0 ( $p < 0.05$ ). Entre los otros tres tratamientos de composta (10, 20 y 30 t ha<sup>-1</sup>) y el tratamiento T1 (con fertilizante) no se detectaron diferencias estadísticamente significativas.

Era de esperarse que los mayores niveles de composta presentaran diferencias significativas en el rendimiento con respecto a los niveles bajos. Sin embargo, no fue así, probablemente debido a un limitado aprovechamiento del material orgánico al usarse sin una incorporación.

En la figura 3 se presenta el modelo de rendimiento en función de los niveles

Cuadro 10. Análisis de varianza de grano del Experimento 1.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	17.37582	4	4.34395714	9.4740	0.0011	3.2592
Bloques	1.548493	3	0.51616462	1.1257	0.3775	3.4903
Error	5.502146	12	0.45851218			
<b>Total</b>	<b>24.42646</b>	<b>19</b>				

Cuadro 11. Análisis de contrastes de grano del Experimento 1.

	T0	T1	10	20	30	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
			t/ha	t/ha	t/ha						
Z1	-4	1	1	1	1	35.2204	1240.47	80	15.5059	<b>33.8179*</b>	4.7472
Z2	0	-3	1	1	1	7.46436	55.7166	48	1.16076	2.53159	4.7472
Z3	0	0	-1	2	-1	0.97532	0.95126	24	0.03964	0.08644	4.7472
Z4	0	0	-1	0	1	2.31432	5.35609	8	0.66951	1.46018	4.7472

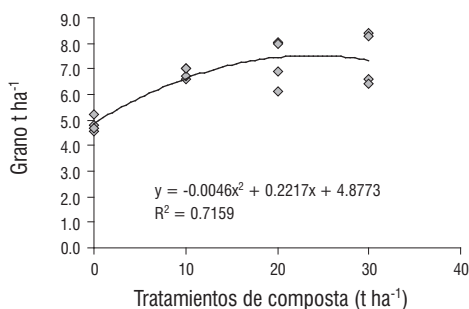


Figura 3. Modelo de rendimiento de grano.

de composta; el valor de  $R^2$  es significativo ( $p < 0.05$ ).

Resultó evidente que combinando el 50% del fertilizante químico con la composta de RSM, se logra un efecto similar al que se puede alcanzar con el uso exclusivo del fertilizante. De aquí, la posibilidad de disminuir la cantidad de fertilizante en beneficio del medio ambiente, como sucedió en otros trabajos (Shiralipour et al. 1992; Garland et al. 1995; EPA 1998).

**EXPERIMENTO 2:** Composta en banda sin incorporar y sin fertilizante

En el cuadro 12 se muestran los valores de grano promedio de los tratamientos. Al igual que en el experimento 1, la composta siempre produjo incremento. Lo mismo ocurrió para el caso del tratamiento con fertilizante.

En el cuadro 13 se muestra el análisis de varianza de los datos anteriores.

Cuadro 12. Rendimiento promedio de grano del Experimento 2.

Tratamientos	Grano t ha <sup>-1</sup>
T0	4.57
T1	6.11
10 t ha <sup>-1</sup>	5.83
20 t ha <sup>-1</sup>	6.31
30 t ha <sup>-1</sup>	6.52

El análisis demuestra que el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de grano fue significativo ( $p < 0.05$ ); el valor del CV fue de 11.82%.

En el análisis de contrastes ortogonales (cuadro 14), se aprecia que el testigo con fertilizante (T1) y las dosis de composta no fueron estadísticamente diferentes entre sí ( $p < 0.05$ ), pero todos estos tratamientos resultaron superiores que el testigo absoluto (T0) ( $p < 0.05$ ).

Como se observa en la figura 4, el valor de  $R^2$  fue significativo ( $p < 0.05$ ). Se aprecia una tendencia ascendente que al nivel de 30 t ha<sup>-1</sup> se estabiliza.

Los resultados en este experimento muestran que la composta puede sustituir al fertilizante químico aplicado cuando la composta se usa en dosis mayores de 20 t ha<sup>-1</sup>. Este resultado concuerda con el obtenido por López et al. (2001), en el sentido de que las dosis de 20 a 30 t ha<sup>-1</sup> de una composta, pero de equimos con estiércol, fue suficiente para sustituir la fertilización

Cuadro 13. Análisis de varianza de grano del Experimento 2.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	9.5021821	4	2.37554554	4.8040	0.0151	3.2592
Bloques	4.7968785	3	1.59895952	3.2335	0.0607	3.4903
Error	5.9339197	12	0.49449332			
<b>Total</b>	<b>20.232980</b>	<b>19</b>				

inorgánica en el rendimiento de grano de maíz.

Fuchs et al. (2004) opinan que el nivel de conocimientos actuales sobre la aplicación de compostas en la agricultura y horticultura es limitado, y que se requieren más investigaciones en este campo para comprender mejor los mecanismos de acción de estos materiales.

Los resultados de ambos experimentos permiten corroborar la hipótesis de que la adición de composta favorece la producción de grano del maíz y que su aplicación permite reducir el uso de fertilizantes entre el 50 y el 100%.

#### ANÁLISIS CONJUNTOS DE LOS EXPERIMENTOS

Con la finalidad de conocer la interacción entre la composta de RSM y las aplicaciones de fertilizante, con respecto a las localidades estudiadas, se realizó un análisis de varianza combinado, cuyos resultados se presentan en el cuadro 15. Es interesante observar la diferencia significativa entre localidades (ambientes) ( $p < 0.01$ ); en el mismo análisis se ratifica la diferencia en-

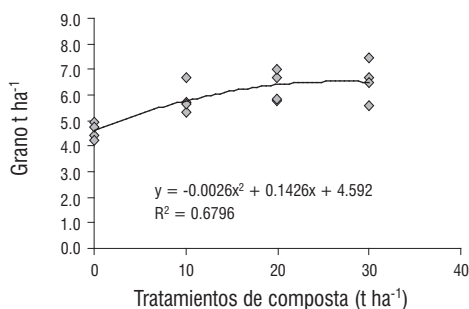


Figura 4. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 2.

tre tratamientos. Agronómicamente, este hallazgo indica que la aplicación conjunta de composta y fertilizante resultó significativamente superior al uso de la composta sin fertilizante ( $p < 0.01$ ). La interacción entre localidades (ambientes) y los tratamientos no resultó significativa ( $p > 0.05$ ).

Cuadro 14. Análisis de contrastes de grano del Experimento 2.

	To	T1	10	20	30	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
			t/ha	t/ha	/ha						
Z1	-4	1	1	1	1	26.0295	677.532	80	8.46916	17.1269*	4.7472
Z2	0	-3	1	1	1	1.346	1.81171	48	0.03774	0.07633	4.7472
Z3	0	0	-1	2	-1	1.06858	1.14186	24	0.04758	0.09621	4.7472
Z4	0	0	-1	0	1	2.75348	7.58164	8	0.9477	1.91652	4.7472

Cuadro 15. Análisis de varianza combinado entre localidades.

FV	GL	SC	CM	FC	F $\alpha$ (0.05)	F $\alpha$ (0.01)
Localidades	1	4.9328	4.9328	9.4894	4.3009	7.9453
Bloques dentro de localidades	8	6.3454	0.7932	1.5259	2.3965	3.4530
Tratamientos	4	25.9476	6.4870	12.4792	2.8167	4.3134
Tratamientos x localidades	4	0.9301	0.2325	0.4473	2.8167	4.3134
Error	22	11.4361	0.5198			
<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>49.5922</b>				

## Conclusiones

De acuerdo con los análisis practicados a la composta de RSM, ésta resultó ser un material sin restricciones para uso agrícola, en vista de que la concentración de metales pesados y la población de microorganismos patógenos y parásitos se ubicó dentro de los límites permisibles según las normas ecológicas de SEMARNAT. Con respecto a sus propiedades como mejorador del suelo, el contenido de humedad y el tamaño de partículas, no resultaron ser los más recomendables.

El rendimiento del grano de maíz se incrementó cuando los tratamientos incluyeron el 50% del fertilizantes con respecto a los tratamientos de composta de RSM sin fertilizantes.

Comparando los rendimientos de grano, se dedujo que es posible reducir el 50% del uso de fertilizantes utilizando composta de RSM, con el consiguiente beneficio para el medio ambiente. El rendimiento fue mayor combinando la composta con los fertilizantes que sin éstos.

La composta pudo sustituir el uso total de fertilizantes con dosis mayores a 20 t ha<sup>-1</sup>, no obstante, se obtuvieron mejores resultados combinando composta con fertilizantes.

El no incorporar la composta al suelo impidió un mayor efecto del material sobre el rendimiento.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Caabsa Eagle, S.A. por el apoyo financiero y logístico para la realización de este trabajo de investigación. A dos revisores anónimos sus sugerencias para mejorar el documento.

## Literatura citada

- Aggelides SM and Londra PA.** 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology* 71(3): 253–259.
- Altamirano O., J.** 2004. *Consulta personal*. Gerencia de Comercialización de Caabsa Eagle, S.A. de Guadalajara.
- Base Aérea Militar N° 5.** 2006. *Consulta personal en la Estación Meteorológica de la Fuerza Aérea Mexicana ubicada en Zapopan, Jalisco.*
- Brinton, W.F. & R.B. Brinton.** 1992. *MSW composting: Old story, new challenges*. MSW Composting Report, Wood End Research. Based on a revised lecture presented at Washington State University.
- Daniels, L. y Miramontes-Lau, E. A.** 1992. *Manual de interpretaciones de suelos para usos diversos*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. CNA. México.
- Diaz L. F., G. M. Savage, L. L. Eggerth, C. G. Goulueke.** 1993. *Composting and recycling municipal solid wastes*. Lewis Publishers, Florida. 296 p.
- EPA.** 1998. *Characterization of Municipal Solid Wastes in the United States*; En: Stoffela, P.J. & B.A. Kahn ed., 2001. *Compost utili-*

- zation in horticultural cropping systems. Lewis Publishers, U.S.A. 414 p.
- Fricke K., W. Pertl and H. Vogtmann.** 1989. Technology and undesirable components on compost of separately collected organic wastes. *Agriculture, Ecosystems and Environment, Elsevier Science Publishers* **27**: 464–469.
- Fuchs J. G., M Bieri, M. Chardonens (Hrsg.).** 2004. *Auswirkungen von Komposten und von Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit, sowie die Pflanzengesundheit.* Herausgegeben durch FiBL, Schweiz, p. 71.
- Garland, G. A., T. A. Grist, R. Green.** 1995. The compost story: From soil enrichment to pollution remediation, *BioCycle Emmaus* **36**(10): 53–54.
- Gonzalez, C. and J. J. Morales.** 2002. Hard times or promising future for composting in México?. *BioCycle Emmaus* **93**(2): 74 (2 pages).
- He, Xin Tao, Traina, S. J. Logan, T. J.** 1992. Chemical properties of municipal solid wastes composts. *Journal of Environmental Quality* **21**(3): 318–329.
- Khalilian, A, Williamson R E, Sullivan M J, Mueller J D, Wolak, F J, Lippert R M, Shiralipour A.** 2002. Effects of surface application of MSW compost on cotton production - Soil properties, plant responses, and nematode management. *Compost Science & Utilization* **10**(3):270–279.
- INEGI.** 1975. *Carta edafológica:* Guadalajara Oeste F13D35. Escala 1:50,000. México.
- López-Martínez J. D., A. Díaz Estrada, E. Martínez Rubin, R. D. Valdez Zepeda.** 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas de suelo y rendimiento en maíz. *Revista Terra* **19**: 293–299.
- Mamo, M., C. J. Rosen, T. R. Halbach.** 1999. Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost. *Journal of Environmental Quality* **28**(4): 1074.
- Martínez M., E.** 1975. *El compost, su valor como material orgánico y la importancia de su aplicación en suelos agrícolas.* Tesis de licenciatura. Escuela de Agricultura de la Universidad de Guadalajara.
- Maynard, A. A.** 1995. Cumulative effect of annual additions of MSW compost on the yields of field-grown tomatoes. *Journal of Compost Science & Utilization* **3**(2): 47–54.
- NRAES.** 1999. *Field guide to on-farm composting.* Ithaca, New York, 118 pp.
- Scottish Agricultural College.** 2001. *Use of Compost in Agriculture.* Frequently asked questions prepared for Recycling Market Development Scotland. [www.sac.ac.uk](http://www.sac.ac.uk) p. 4
- Shiralipour, A. et al.** 1992. Science and Engineering of Compost. En: Scottish Agricultural College. (2001). *Use of Compost in Agriculture.* Frequently asked questions prepared for Recycling Market Development Scotland. [www.sac.ac.uk](http://www.sac.ac.uk) p. 11.
- Tester, C.F. et al.** 1980. Effects of screening on compost properties, p. 126–135. En: Stoffela, P.J. & B.A. Kahn ed., 2001. *Compost utilization in horticultural cropping systems.* Lewis Publishers, U.S.A. 414 pp.
- U.S. Composting Council.** 2007. *Evaluating Compost Quality.* Disponible en:<http://www.compostingcouncil.org/section.cfm?id=39> (Consultado el 8 de Febrero del 2007).

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN

29 DE JUNIO DE 2007