

Response of corn hybrids to aflatoxins and charcoal rot under limited irrigation conditions

Respuesta de híbridos de maíz a aflatoxinas y pudrición carbonosa con irrigación restringida

Alvarado Carrillo Manuel; Díaz Franco Arturo; Ortiz Cháirez Flor Elena*

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Río Bravo, Tamaulipas. MÉXICO.
Correo-e: ortiz.flor@inifap.gob.mx (*Autor para Correspondencia)

Abstract

The shortage of water in the reservoirs of northern Tamaulipas can cause a decrease in yield and phytosanitary problems such as aflatoxins (*Aspergillus flavus*) and charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) in corn production. The aim of the study was to determine the response of 10 commercial corn hybrids to aflatoxins and charcoal rot, and in terms of yield, under limited irrigation conditions with two irrigation applications. The evaluated hybrids were: Gorila, Gstar 8802, DK 3000, Pioneer 30P49, P3097, Syngenta 8285, Pioneer 30R50, Canguro, Garañón and Tech Ag 8535. The variables measured were plant height, yield, charcoal rot incidence, water use efficiency, and grain protein and aflatoxin contamination level. The corn hybrids showed a similar response in aflatoxin contamination level, grain protein and yield, averaging 2.8 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 6.9 % and 7,318 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively. Although Garañón had the highest water use efficiency value (2.31 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), DK 3000, 30R50 and Canguro recorded the lowest charcoal rot incidence (25-35 %). In general, the corn hybrids showed good productivity with limited irrigation; however, charcoal rot may pose a threat to production.

Keywords: *Zea mays*,
Aspergillus flavus,
Macrophomina phaseolina.

Resumen

La escasez de agua en las presas del norte de Tamaulipas, puede originar disminución en el rendimiento y problemas fitosanitarios en la producción de maíz como aflatoxinas (*Aspergillus flavus*) y pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*). El objetivo del estudio fue conocer la respuesta de 10 híbridos comerciales de maíz a aflatoxinas, pudrición carbonosa y rendimiento, en irrigación restringida con dos riegos de auxilio. Los híbridos evaluados fueron: Gorila, Gstar 8802, DK 3000, Pioneer 30P49, P3097, Syngenta 8285, Pioneer 30R50, Canguro, Garañón y Tech Ag 8535. Las variables medidas fueron altura de planta, rendimiento, incidencia de pudrición carbonosa, uso eficiente del agua, proteína de grano y nivel de contaminación por aflatoxinas. Los híbridos de maíz manifestaron una respuesta similar en el nivel de contaminación por aflatoxinas, proteína de grano y rendimiento, con promedios de 2.8 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 6.9 % y 7,318 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Aunque Garañón obtuvo el valor más alto en el uso eficiente del agua (2.31 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), los que registraron menor incidencia de pudrición carbonosa (25-35 %) fueron DK 3000, 30R50 y Canguro. En general, los híbridos de maíz mostraron buena productividad con riego restringido, no obstante, la pudrición carbonosa puede representar una amenaza para la producción.

Palabras clave: *Zea mays*,
Aspergillus flavus,
Macrophomina phaseolina.

Introduction

The low availability of water for agriculture in recent years in the reservoirs of Mexico's irrigation districts has forced farmers to consider switching to production systems that make more rational use of water. The water shortage has negative impacts on agricultural productivity and the economy (Návar, 2011). In the northeastern region of Mexico, Tamaulipas has the largest area of irrigated corn (117,000 ha), 60 % of which is located in border counties stretching from Miguel Alemán to Matamoros (SAGARPA, 2015). In this region and because of the shortage of water in reservoirs, the National Water Commission (henceforth referred to by its Spanish acronym CNA) has restricted the number of irrigation applications to a maximum of two in Rural Irrigation District 025. This deficiency of soil moisture limits corn growth and production, causing a decrease in yield and problems in grain quality (Salinas *et al.*, 2006). In addition, a new generation of corn hybrids has been introduced in the region, which could be vulnerable not only because of the limited irrigation applications, but also, and as a result thereof, of the presence of aflatoxins and charcoal rot (Díaz and Montes, 2008; Beltrán and Isakeit, 2004; Clafin and Giorda, 2002).

In Mexico, 60 % of all imported or produced corn is used for human consumption; therefore, aflatoxin contamination in this cereal is a matter of great importance in terms of the diet and health of the population (Anguiano *et al.*, 2005; García and Heredia, 2006). The presence of aflatoxins (*Aspergillus flavus*) before harvest is a common problem in the producing regions, and is even more severe when there are high temperatures and drought stress during crop development (Beltrán and Isakeit, 2004; Cotty and García, 2007). In Tamaulipas, more than 80 % aflatoxin contamination has been recorded in the grain produced, and within the management of the disease, the timely application of three irrigation applications in three major stages of development has been suggested: vegetative (6-7 leaves), bolting and grain filling (Rodríguez *et al.*, 1995; CERIB, 2012). The maximum internationally-approved aflatoxin regulatory level in corn is 20 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Secretaría de Salud, 2002; FDA, 2008).

Corn is affected by *Macrophomina phaseolina*, a soil pathogen that causes charcoal rot in the stalk and roots in warm conditions and with water stress due to low soil moisture (Kending *et al.*, 2000; Clafin and Giorda, 2002). In Tamaulipas, incidences higher than 80 % have been recorded in corn (Díaz-Franco y Montes-García, 2008). Although infections are common at the end of the cycle, when the pathogen does not have an impact on yield, it represents a threat since plants tend to present lodging with strong winds, causing crop losses during harvesting when this practice is mechanized

Introducción

La baja disponibilidad de agua para la agricultura en los últimos años en los embalses de los distritos de riego del país, ha obligado a considerar cambios en los sistemas productivos que tienden a hacer un uso racional del agua. La escasez de agua tiene impactos negativos en la productividad agrícola y en la economía (Návar, 2011). En la región noreste de México, Tamaulipas mantiene la mayor superficie de maíz de riego (117 mil ha), y el 60 % se encuentra particularmente en los municipios fronterizos comprendidos desde Miguel Alemán a Matamoros (SAGARPA, 2015). En esta región y debido a la escasez de agua en las presas, la Comisión Nacional del Agua (CNA), ha restringido la aplicación de dos riegos de auxilio como máximo en el Distrito de Riego Rural 025. Esta deficiencia de humedad en el suelo, limita el crecimiento y producción del maíz, originando una disminución en el rendimiento y problemas en la calidad del grano (Salinas *et al.*, 2006). Además, se ha introducido en la región, una nueva generación de híbridos de maíz los cuales podrían ser vulnerables no solo a los riegos limitados, sino también y como consecuencia, a la presencia de aflatoxinas y pudrición carbonosa (Díaz y Montes, 2008; Beltrán y Isakeit, 2004; Clafin y Giorda, 2002).

En México, el 60 % del maíz importado o producido se utiliza para el consumo humano; por lo tanto, la contaminación por aflatoxinas en este cereal representa un tema de gran importancia en la dieta y la salud de la población (Anguiano *et al.*, 2005; García y Heredia, 2006). La presencia de aflatoxinas (*Aspergillus flavus*) antes de la cosecha es un problema común en las regiones productoras, y es más severo aún con altas temperaturas y periodos de estrés por sequía presentes durante el desarrollo del cultivo (Beltrán y Isakeit, 2004; Cotty y García, 2007). En Tamaulipas se ha registrado más de 80 % de contaminación por aflatoxinas en el grano producido y dentro del manejo de la enfermedad, se ha sugerido la aplicación oportuna de tres riegos de auxilio en tres etapas importantes de desarrollo: vegetativa (6-7 hojas), espigamiento y llenado de grano (Rodríguez *et al.*, 1995; CERIB, 2012). Los niveles internacionales reglamentarios de aflatoxinas aprobados en maíz son hasta 20 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Secretaría de Salud, 2002; FDA, 2008).

El maíz es afectado por *Macrophomina phaseolina*, patógeno del suelo que provoca la pudrición carbonosa de tallo y raíz, en condiciones cálidas y con estrés hídrico por la baja humedad en el suelo (Kending *et al.*, 2000; Clafin y Giorda, 2002). En Tamaulipas se han registrado incidencias mayores a 80 % en maíz (Díaz-Franco y Montes-García, 2008). Aunque son comunes las infecciones tardías, al final del ciclo, donde el patógeno no impacta en el rendimiento, éste representa una amenaza ya que las plantas tienden a presentar acame con la presencia de vientos fuertes,

(Girón-Calderón, 1993; Kucharek and Raid, 2000; Doubrava and Blake, 2004). Therefore, the aim of this study was to determine the response of 10 commercial corn hybrids planted in conditions of two irrigation applications, associated with the aflatoxin level and damage caused by *M. phaseolina*.

Materials and methods

The study was conducted on land belonging to the Rio Bravo Experimental Station (henceforth referred to by its Spanish acronym CERIB), INIFAP, Rio Bravo, Tamaulipas [25° 58' 02.08" N, 98° 01' 03.01"; at an elevation of 25 m (Rodríguez-del-Bosque, 2006)], with water availability for two irrigation applications. Ten corn hybrids were used, namely Gorila, Gstar 8802, DK 3000, Pionner 30P49, Pionner P3097, Syngenta 8285, Pionner 30R50, Canguro, Garañón and Tech Ag 8535, with the latter considered as a regional control. Planting took place on February 13, 2013, at a density of 70,000 plants·ha⁻¹. A randomized complete block design with four replications, each representing the experimental unit with four rows of 0.81 m in width and 5 m in length, was used. It was fertilized with a dose of 140-40-00 and urea (N) and monoammonium phosphate (MAP) were utilized as the source. The two irrigation applications, adjusted to the CNA restriction, were applied with a depth of 10 cm, the first in the flowering stage on April 6, and the second in the grain filling stage on May 5. The variables measured were plant height (cm), yield (kg·ha⁻¹), charcoal rot incidence (%), water use efficiency (kg·m⁻³), grain protein (%) and the level of grain contamination by aflatoxins (µg·kg⁻¹). At physiological maturity, 10 plants per plot were randomly taken to measure their height, and the stalk was cut lengthwise to record the presence of grayish lesions with black microsclerotia typical of *M. phaseolina* and assess the incidence (%) of charcoal rot (Díaz-Franco et al., 2008). The grain yield was obtained with the harvest, threshing per plot and adjusted to 12 % moisture. With the grain yield obtained from the average of the four replications, water use efficiency was estimated with the formula $WUE = \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ (Kirda et al., 2005). Then ≈500 g of grain were taken from each plot and ground for using 50 g in the determination of aflatoxins by the AflaTest column; another 20 g were used to obtain the percentage of protein with the Kjeldahl method. The data were subjected to analysis of variance and means were separated using the Tukey test ($P < 0.05$). Prior to the analysis of variance, the aflatoxin and charcoal rot data underwent square root transformation to stabilize the variances, although the data presented are the originals.

Results and discussion

During crop development a total of 63.4 mm of precipitation was recorded (Figure 1). The results of the analysis of variance of the corn hybrids as a

que causan pérdidas en la cosecha donde esta práctica es mecanizada (Girón-Calderón, 1993; Kucharek y Raid, 2000; Doubrava y Blake, 2004). Por lo que el objetivo del presente estudio fue conocer la respuesta de 10 híbridos comerciales de maíz sembrados en condiciones de dos riegos de auxilio, asociados con el nivel de aflatoxinas y daño ocasionado por *M. phaseolina*.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en terrenos del Campo Experimental Río Bravo (CERIB), INIFAP, Río Bravo, Tamaulipas [25° 58' 02.08" N, 98° 01' 03.01"; a una altitud de 25 m (Rodríguez-del-Bosque, 2006)], con disponibilidad de agua para dos riegos de auxilio. Los híbridos de maíz Gorila, Gstar 8802, DK 3000, Pionner 30P49, Pionner P3097, Syngenta 8285, Pionner 30R50, Canguro, Garañón y Tech Ag 8535, este último considerado como testigo regional. La siembra fue el 13 de febrero de 2013 y se ajustó a una densidad de 70 mil plantas·ha⁻¹. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en donde cada repetición, representó la unidad experimental con cuatro surcos de 0.81 m de ancho y 5 m de longitud. Se fertilizó con dosis de 140-40-00 y como fuente se utilizó urea (N) y fosfato monoamónico (P y N). Los dos riegos de auxilio, ajustados a la restricción de la CNA, se aplicaron con lámina de 10 cm, el primero en estado de floración, el 6 de abril y el segundo en llenado de grano, el 5 de mayo. Las variables medidas fueron altura de planta (cm), rendimiento (kg·ha⁻¹), incidencia de pudrición carbonosa (%), uso eficiente del agua (kg·m⁻³), proteína de grano (%) y nivel de contaminación de grano por aflatoxinas (µg·kg⁻¹). En madurez fisiológica se tomaron al azar 10 plantas por parcela para medir su altura, además se cortó el tallo longitudinalmente para registrar la presencia de lesiones grisáceas con típicos microesclerocios negros de *M. phaseolina* y valorar la incidencia (%) de pudrición carbonosa (Díaz-Franco et al., 2008). El rendimiento de grano se obtuvo con la cosecha, trilla por parcela y ajustado a 12 % de humedad. Con el rendimiento de grano obtenido del promedio de las cuatro repeticiones, se estimó el uso eficiente de agua con la fórmula $UEA = \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ (Kirda et al., 2005). De cada parcela se tomaron ≈500 g de grano, los cuales se molieron para utilizar 50 g en la determinación de aflatoxinas mediante la columna Aflatest; otros 20 g se utilizaron para obtener el porcentaje de proteína con el método de Kjeldahl. Los datos se sometieron a análisis de varianza y las medias se separaron a través de la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Antes del análisis de varianza, los datos de aflatoxinas y pudrición carbonosa se transformaron con raíz cuadrada para estabilizar las varianzas, aunque los datos presentados son los originales.

Resultados y discusión

Durante el desarrollo del cultivo se registró un total de 63.4 mm de precipitación (Figura 1). Los resultados del

function of the evaluated variables are shown in Table 1. Significant differences in plant height ($P<0.01$) were observed among the hybrids, with Canguro recording the greatest height. For charcoal rot there were differences ($P<0.05$); the hybrids DK 3000, 30R50 and Canguro had the lowest incidence (25-35 %), whereas the most susceptible with 75-90 % infected plants with charcoal rot symptoms were Syngenta 8285 and Tech Ag 8535, respectively. Even under the condition of limited irrigation, grain aflatoxin contamination was similar among the corn hybrids, averaging $2.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{mg}$; this value does not represent a health hazard and is well below the allowable level for marketing, which is $20 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Secretaría de Salud, 2002; FDA, 2008).

The percentage of protein, like grain quality, also showed similarity among the hybrids, averaging 6.9 % and falling within the range of 5.8-9.2 % reported by Vázquez *et al.* (2005) and Vasal (2001) for high quality protein corns. Similarly, there were no significant variations in grain yield among the hybrids and the overall average was $7,318 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Because they are commercially recent hybrids and from different companies, there is limited information on comparative yield response. However, in the present study the hybrid that had the greatest water use efficiency was Garañón, which reached $2.31 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Table 1). Water use can be optimized by using a drip irrigation system, although its use for corn will need to depend on its economic feasibility. Alvarado-Carrillo *et al.* (2010) compared the water use efficiency in corn between drip and gravity-fed irrigation systems, and obtained 2.45 and $1.56 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively.

Charcoal rot commonly occurs at the end of the crop cycle, so it had no direct influence on grain yield, variables that were not correlated ($r=0.23$). However, it is worth noting that the weakening of the stalk,

análisis de varianza de los híbridos de maíz en función de las variables evaluadas, se encuentran en el Cuadro 1. Se observaron diferencias significativas en altura de planta ($P<0.01$) entre los híbridos, Canguro fue el que registró la mayor altura. Para pudrición carbonosa hubo diferencias ($P<0.05$), los híbridos DK 3000, 30R50 y Canguro destacaron con la menor incidencia (25-35 %) y los más susceptibles con 75-90 % de plantas infectadas con síntomas de pudrición carbonosa fueron Syngenta 8285 y Tech Ag 8535, respectivamente. Aún bajo la condición de riegos restringidos, la contaminación del grano por aflatoxinas fue semejante entre los híbridos de maíz y el nivel de $2.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, este valor no representa riesgos para la salud y se encuentra muy por debajo de lo permitido para la comercialización ya que lo máximo reglamentado es $20 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Secretaría de Salud, 2002; FDA, 2008).

El porcentaje de proteína, como calidad de grano, también exhibió semejanza entre los híbridos, que en promedio fue de 6.9 %, y se encuentra dentro del rango de 5.8-9.2 %, reportado por Vázquez *et al.* (2005) y Vasal (2001) para maíces considerados de alta calidad proteínica (ACP). Igualmente, en el rendimiento de grano no se observaron variaciones significativas entre los híbridos y el promedio general fue de $7,318 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Debido a que son híbridos comercialmente recientes y de diferentes empresas, es limitada la información sobre la respuesta comparativa en rendimiento. No obstante, en el presente estudio el híbrido que mayor uso eficiente de agua obtuvo fue Garañón que alcanzó $2.31 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Cuadro 1). Es posible optimizar el uso del agua mediante el sistema de riego por goteo, aunque para el maíz dependerá de la rentabilidad de la práctica. Alvarado-Carrillo *et al.* (2010) compararon el uso eficiente de agua en maíz entre los sistemas de riego por goteo y gravedad, y obtuvieron 2.45 y $1.56 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente.

La pudrición carbonosa comúnmente se presenta al final del ciclo del cultivo, por lo que no tuvo influencia directa en el rendimiento de grano, variables que no correlacionaron ($r=0.23$). Sin embargo, es relevante señalar que el debilitamiento del tallo, aunado con la presencia de vientos fuertes, podrían ocasionar acame y pérdidas indirectas en la producción, ya que la cosecha es mecanizada (Kucharek y Raid, 2000; Doubrava y Blake, 2004), lo cual no aconteció en este estudio. Este patógeno se ha observado en parcelas comerciales de maíz en Tamaulipas (Girón-Calderón, 1993). Es importante destacar que el rendimiento promedio obtenido en el estudio fue de $7,318 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y se encuentra por encima del promedio de rendimiento regional con tres riegos de auxilio que es de $6,803 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Reyes-Méndez *et al.*, 2013). Lo anterior es un indicativo del potencial que manifiestan los híbridos evaluados, aún con riegos limitados.

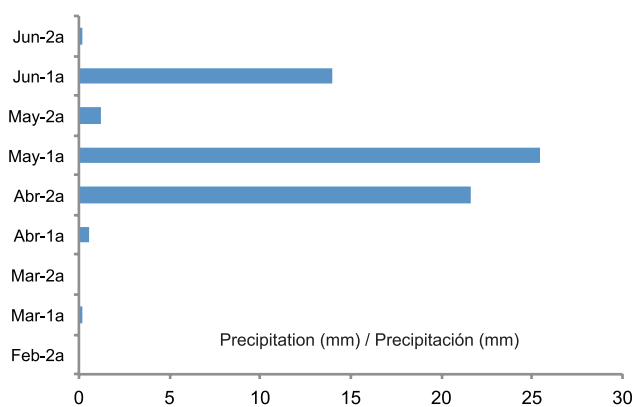


Figure 1. Biweekly precipitation amounts that occurred during crop development in CERIB, 2013.

Figura 1. Precipitación quincenal ocurrida durante el desarrollo del cultivo en el CERIB, 2013.

Table 1. Values of plant height (PH), charcoal rot (CR), aflatoxins (AF), grain protein (GP), yield (Y) and water use efficiency (WUE) in commercial corn hybrids subjected to two irrigation applications.**Cuadro 1. Valores de altura de planta (AP), pudrición carbonosa (PC), aflatoxinas (AF), proteína de grano (PG), rendimiento (REN) y uso eficiente de agua (UEA), en híbridos comerciales de maíz sometidos a dos riegos de auxilio.**

Hybrid/Híbrido	PH (cm)/ AP (cm)	CR (%)/ PC (%)	AF ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	GP (%)/ PG (%)	Y ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)/ REN ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	WUE ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)/ UEA ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Gorila	140 ab ^z	55 ab	2.7	6.7	7,518	2.14
Gstar 8802	133 b	50 ab	2.8	7.0	7,291	2.08
DK 3000	139 ab	25 a	3.0	7.3	7,366	2.10
30P49	143 ab	55 ab	3.5	6.9	6,893	1.96
P3097	143 ab	55 ab	2.4	7.0	7,572	2.16
Syngenta 8285	146 ab	75 b	2.5	6.6	7,250	2.07
30R50	143 ab	30 a	3.1	6.5	7,072	2.02
Canguro	149 a	35 a	3.5	7.7	6,768	1.93
Garañón	134 b	50 ab	2.4	7.4	8,009	2.31
Tech Ag 8535	139 ab	90 b	2.2	6.7	7,441	2.12
Significance F/ Significancia F	**	*	NS	NS	NS	--

^z Values with the same letter are equal according to Tukey's test ($P<0.05$).

***NS, significant at $P<0.05$, 0.01, and not significant, respectively.

^z Valores unidos con la misma letra son iguales según la prueba de Tukey ($P<0.05$).

***NS, significativo a nivel de $P<0.05$, 0.01, y no significativo, respectivamente.

coupled with strong winds, could cause lodging and indirect losses in production, since the harvest is mechanized (Kucharek and Raid, 2000; Doubrava and Blake, 2004), which did not occur in this study. This pathogen has been observed in commercial corn fields in Tamaulipas (Girón-Calderón, 1993). It is important to note that the average yield obtained in the study was $7,318 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, which is above the regional average of $6,803 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtained with three irrigation applications (Reyes-Méndez *et al.*, 2013). This is indicative of the potential shown by the evaluated hybrids, even with limited irrigation.

Conclusions

Under limited irrigation conditions, with two irrigation applications, the corn hybrids expressed a similar response in aflatoxin contamination level, grain protein and yield. Garañón obtained the highest numerical value in water use efficiency ($2.31 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). The hybrids with the lowest charcoal rot incidence were DK 3000, 30R50 and Canguro.

Conclusiones

En condiciones de riego restringido, con dos riegos de auxilio los híbridos de maíz expresaron respuesta similar en nivel de contaminación por aflatoxinas, proteína de grano y rendimiento. Garañón obtuvo el valor numérico más alto en el uso eficiente del agua ($2.31 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Los híbridos con menor incidencia de pudrición carbonosa fueron DK 3000, 30R50 y Canguro.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Patronato de Fomento y Sanidad Vegetal de Matamoros, Tamaulipas, para esta investigación.

Fin de la versión en español

Acknowledgments

The authors thank the *Patronato de Fomento y Sanidad Vegetal* (Plant Health and Promotion Board) of Matamoros, Tamaulipas, for supporting this research.

End of English version

Literatura citada

- Alvarado-Carrillo, M.; Díaz-Franco, A.; Delgado-Aguirre, E.; Montes-García, N. 2010. Impact of corn agronomic management on aflatoxin (*Aspergillus flavus*) contamination and charcoal stalk rot (*Macrophomina phaseolina*) incidence. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12: 575-582.
- Anguiano, R. G. L.; Guzmán P. D.; Vargas C. A. 2005. Inactivación de aflatoxina B1 y aflatoxicol por nixtamalización tradicional del maíz y su regeneración por acidificación de la masa. *Salud Pública Mexicana* 47: 369-375.
- Beltrán, F. J.; Isakeit, T. 2004. Aflatoxin accumulation in maize hybrids of different maturities. *Agronomy Journal* 96: 565-570.
- CERIB, 2012. Paquete tecnológico para maíz. Campo Experimental Río Bravo, Centro de Investigaciones del Noreste, INIFAP. México. pp: 15-16.
- Claflin, L. E.; Giorda, L. M. 2002. Stalks rots of sorghum. In: Leslie J. F. (ed.). *Sorghum and Millets Diseases*. Iowa Estate Press. Ames, Iowa, USA. pp: 181-190.
- Cotty, P. J.; García, R. J. 2007. Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. *International Journal of Food Microbiology* 119: 10-115.
- Díaz-Franco A; Montes-García N. 2008. La fitopatología en la región semiárida de Tamaulipas, México: Reseña histórica. *Revista Mexicana de Fitopatología* 26: 62-70.
- Díaz-Franco A.; Salinas-García J.; Garza-Cano I.; Mayek-Pérez N. 2008. Impacto de labranza e inoculación micorrizica arbuscular sobre la pudrición carbonosa y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 257-263.
- Doubrava, N.; Blake, J. H. 2004. *Sweet Corn Diseases*. Clemson Extension. Clemson University. Publ. HGIC-2204. Clemson, SC, USA. 4 p.
- FDA. 2010. Bad Bug Book - Aflatoxin. www.cfsan.fda.gov/chap41.html.
- García, S.; Heredia, N. 2006. Mycotoxins in Mexico: Epidemiology, management, and control strategies. *Micopathologia* 162: 255-264.
- Girón-Calderón R. 1993. Maíz. In: Díaz-Franco A. (ed.). *Enfermedades Infecciosas de los Cultivos*. Trillas. México. pp: 19-34.
- Kending, R. S.; Rupe, J. C.; Scott, H. D. 2000. Effect of irrigation and soil water stress on densities of *Macrophomina phaseolina* in soil and roots of soybean cultivars. *Plant Diseases* 84: 895-900.
- Kirda, C.; Topcu, S.; Kaman, H.; Ulger, A. C.; Yazzici, A. 2005. Grain yield and N-fertilizer recovery of maize under deficit irrigation. *Field Crops Research* 43: 132-138.
- Kucharek, T.; Raid, R. 2000. Some diseases of corn in Florida. Florida Coop. Ext. Serv./Inst. of Food and Agr. Sci., University of Florida. Circular-1130. Gainesville, FL, USA. 15p.
- Návar, C. J. 2011. Water scarcity and degradation in the Rio San Juan watershed of Northeastern Mexico. *Frontera Norte* 23:125-150.
- Reyes-Méndez C.; Cantú-Almaguer M.; De la Garza-Caballero M. 2013. Híbridos de maíz para el norte y centro de Tamaulipas. Folleto para Productores No. 23. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. México. 14 p.
- Rodríguez-Del Bosque. 2006. Campo Experimental Río Bravo: 50 años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Libro técnico No. 1. INIFAP, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tam., México. 325 p.
- Rodríguez-del-Bosque L.; Reyes-Méndez C.; Acosta-Núñez S., Girón-Calderón R.; Garza-Cano I.; García-Villanueva R. 1995. Control de aflatoxinas en maíz en Tamaulipas. Folleto Técnico 17. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. México. 18 p.
- SAGARPA, 2015. Servicio de información agroalimentario y pesquera. www.siap.gob.mx/index.
- Salinas-García J.; Alvarado-Carrillo M.; Sánchez-de-la-Cruz R. 2006. Suelo y agua. En: Rodríguez-del-Bosque L. A. (ed.). *Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos*. Libro Técnico No. 1. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. México. Pp: 147-162.
- Secretaría de Salud. 2002. Norma oficial Mexicana NOM-188-SSA1. Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial, martes 15 de octubre. México. pp: 22-40.
- Vasal, S. K. 2001. High quality protein corn. 2ª. Ed. In: Hallauer, A. R. (ed.). *Specialty Corns*. Iowa State University, Department of Agronomy. CRC Press. Ames, Iowa, USA. pp. 85-129.
- Vázquez, C. M. G.; Escobedo M. D.; González C. A.; Turrent F. A. 2005. Contenido de proteína, lisina y triptófano en maíces de alta calidad proteínica (ACP) con diferente manejo agronómico. *Agricultura Técnica en México* 31: 191-202.