

Incidencia y severidad de pudrición de mazorcas de maíz genéticamente modificado y convencional en Sinaloa, México*

Incidence and severity of ear rot on genetically modified and conventional maize in Sinaloa, Mexico

Agustín Hernández Juárez, Luis A. Aguirre Uribe[§], Mariano Flores Dávila, Ernesto Cerna Chávez, Jerónimo Landeros Flores, Yisa M. Ochoa Fuentes y Gustavo A. Frías Treviño

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro, núm. 1923. Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. C. P. 25315. Tel: 844 411 03 26. (chinoahj14@hotmail.com; cisef9@hotmail.com; jabaly1@yahoo.com; jlanflo@hotmail.com; yisa8a@yahoo.com; servesa_gfriast@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: luisaguirreu@yahoo.com.mx.

Resumen

Se evaluó en maíz genéticamente modificado (GM) con el evento Agrisure[®] Viptera[™] 3111, la incidencia y severidad de pudrición de mazorca por *Fusarium* sp., en dos localidades de Culiacán, Sinaloa. En El Camalote, el híbrido observó una incidencia y severidad de 47.2 y 22.5% respectivamente; comparado con el híbrido convencional con control de plagas que presentó 54.7 y 27.1% de incidencia y severidad de pudrición y el híbrido convencional (testigo absoluto), tuvo un mayor daño con una incidencia de 59.4 y 35.2% de severidad. En la evaluación de Oso Viejo, el híbrido Agrisure[®] Viptera[™] 3111 presentó menor daño con 25.7 y 7.6% de incidencia y severidad de la enfermedad respectivamente; el híbrido convencional con control de plagas tuvo una incidencia de 67.5% y una severidad de 38.7%, y el testigo absoluto tuvo el mayor daño 80.8 y 53.5% de incidencia y severidad. El maíz Agrisure[®] Viptera[™] 3111 no fue desarrollado para el manejo de enfermedades, no obstante; el resultado encontrado demuestra que el maíz genéticamente modificado confiere un beneficio adicional indirecto al de resistencia a insectos plaga, previniendo la formación de puntos de entrada para fitopatógenos que se desarrollan en el tejido susceptible, provocando la pudrición de mazorca.

Abstract

It was assessed in genetically modified (GM) maize with Agrisure[®] Viptera[™] 3111, the incidence and severity of ear rot by *Fusarium* sp., in two locations from Culiacan, Sinaloa. In El Camalote, the hybrid showed incidence and severity of 47.2 and 22.5% respectively; compared to conventional hybrid with pest control showed 54.7 and 27.1% of incidence and severity of rot and conventional hybrid (control), had further damage with an incidence of 59.4 and severity of 35.2%. In assessing Oso Viejo, the hybrid Agrisure[®] Viptera[™] 3111 showed less damage with 25.7 and 7.6% incidence and severity of the disease respectively; the conventional hybrid with pest control had an incidence of 67.5% and severity of 38.7%, and control had the highest damage 80.8 and 53.5% of incidence and severity. Agrisure[®] Viptera[™] 3111 corn was not developed for disease management, however; the findings show that the genetically modified maize confers an indirect additional benefit to pest resistance, preventing the formation of entry points for pathogens that develop in susceptible tissue, causing ear rot.

Keywords: *Bacillus thuringiensis*, *Zea mays* L., ear diseases, fungi, transgenic plants.

* Recibido: agosto de 2016
Aceptado: septiembre de 2016

Palabras clave: *Bacillus thuringiensis*, *Zea mays* L., enfermedades de mazorca, hongos, plantas transgénicas.

Introducción

México es uno de los principales productores de maíz (*Zea mays* L.) en el mundo, cuya producción en 2014 fue de 23 273 256.54 t, por encima de otros cereales como el trigo, sorgo, cebada, arroz y avena, destacando el estado de Sinaloa con la mayor producción con 3 686 274.43 t. La importancia económica de este estado ha ido en aumento debido a su producción a través del doble ciclo de cultivo [primavera-verano y otoño-invierno] (SAGARPA/SIAP, 2015). Este tipo de siembra durante todo el año, favorece el desarrollo de plagas y la proliferación de enfermedades, cuya incidencia representa un potencial de riesgo para el manejo del cultivo.

Entre las enfermedades de mayor importancia económica se encuentra la pudrición de mazorca causada por *Fusarium* sp., la cual se localiza en todas las regiones donde se siembra el maíz, principalmente en zonas tropicales con alta humedad relativa. Este patógeno es capaz de colonizar y causar daño en todas las etapas del cultivo y sobrevivir amplios periodos en residuos vegetales (Thomas y Buddenhagen, 1980; Desjardins *et al.*, 1994; De León, 1997; Mendoza *et al.*, 2003). En semilla, puede invadir y ocasionar manchas en el exterior, reduciendo la tasa de germinación por la muerte del embrión (De León, 1997; González *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2007), además produce micotoxinas que afectan la salud humana y animal (Robledo *et al.*, 2001; Bakan *et al.*, 2002; Desjardins *et al.*, 2006). La severidad de esta enfermedad en maíz causa un efecto directo en la disminución del rendimiento, que para el centro de México, oscila entre 6-55% (González *et al.*, 2007; Briones *et al.*, 2015) y en la zona agrícola de Sinaloa se reportan pérdidas mayores a 30% (García *et al.*, 2012).

La incidencia de pudrición se ha incrementado en los últimos años, debido en parte al efecto de la precipitación desde la formación de la espiga hasta la cosecha, y a la presencia de daño mecánico en la mazorca y del grano provocado por el gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie), gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) y otros insectos, los cuales contribuyen a la diseminación de las esporas de *Fusarium* (De León, 1997; Paliwal *et al.*, 2001; Wu, 2006).

Introduction

Mexico is one of the main producers of maize (*Zea mays* L.) in the world, whose production in 2014 was 23 273 256.54 t, over other cereals such as wheat, sorghum, barley, rice and oats, highlighting the state of Sinaloa with higher production of 3 686 274.43 t. The economic importance of this state has been increasing due to its production through double crop cycle [spring-summer and autumn-winter] (SAGARPA / SIAP, 2015). This type of planting throughout the year, favors the development of pests and the spread of disease, the incidence of which represents a potential risk for crop management.

Among the most economically important diseases is ear rot caused by *Fusarium* sp., which is located in all regions where maize is grown, mainly in tropical areas with high relative humidity. This pathogen is able to colonize and cause damage at all stages of the crop and survive extended periods in plant residues (Thomas and Buddenhagen, 1980; Desjardins *et al.*, 1994; De León, 1997; Mendoza *et al.*, 2003). In Seed, can invade and cause stains on the outside, reducing the germination rate by death of the embryo (De Leon, 1997; González *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2007), it also produces mycotoxins that affect human and animal health (Robledo *et al.*, 2001; Bakan *et al.*, 2002, Desjardins *et al.*, 2006). The severity of this disease in maize causes a direct effect in decreasing yield, which for central Mexico, ranges from 6-55% (González *et al.*, 2007; Briones *et al.*, 2015) and on agricultural area from Sinaloa report losses above 30% (García *et al.*, 2012).

Rot incidence has increased in recent years, partly due to the effect of precipitation from spike formation to harvest, and the presence of mechanical damage on cob and grain caused by corn earworm *Helicoverpa zea* (Boddie), armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) and other insects, which contribute to the spread of *Fusarium* spores (De León, 1997; Paliwal *et al.*, 2001; Wu, 2006).

The development of genetically modified (GM) maize hybrid, encoding proteins of *Bacillus thuringiensis* Berliner to express the δ -endotoxin (Bt maize), confers resistance to a wide spectrum of lepidopteran and coleopteran (Buntin *et al.*, 2004a; Buntin *et al.*, 2004b; Buntin, 2008; Duan *et*

El desarrollo de híbridos de maíz genéticamente modificado (GM), que codifican las proteínas de *Bacillus thuringiensis* Berliner para expresar la δ -endotoxina (maíz Bt), le confiere resistencia a un amplio espectro de plagas de lepidópteros y coleópteros (Buntin *et al.*, 2004^a; Buntin *et al.*, 2004^b; Buntin, 2008, Duan *et al.*, 2008; Hardke *et al.*, 2011); siendo una opción práctica para controlar a estos insectos en el campo, lo que reduce los puntos de entrada para hongos fitopatógenos.

Considerando que el maíz GM fue autorizado para probar su efectividad durante 2009-2013 en México bajo condiciones experimentales, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la incidencia y severidad de pudrición de mazorcas por *Fusarium* sp., en maíz genéticamente modificado con el evento Agrisure® Viptera™ 3111, en la zona agrícola de Sinaloa.

La investigación se realizó en la eco región planicie costera sinaloense, en las localidades de El Camalote y Oso Viejo, en Culiacán, Sinaloa, México, durante el ciclo agrícola otoño-invierno. Se utilizó el híbrido de maíz con el evento Agrisure® Viptera™ 3111 que expresa las toxinas Cry1Ab de *B. thuringiensis* var. *Kurstaki* cepa HD1 y Vip3Aa20 de *B. thuringiensis* cepa AB88 que le confieren resistencia a lepidópteros como *Agrotis ipsilon* (Hufnagel), *Diatraea saccharalis* (Fabricius), *S. frugiperda*, *Spodoptera exigua* (Hübner), *Heliothis virescens* (Fabricius), *H. zea*, entre otros y la toxina mCry3A de *B. thuringiensis* subespecie *tenebrionis* que le confiere resistencia a especies de *Diabrotica* (Chevrolat in Dejean); y además, expresa la enzima mutada 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato-sintasa (mEPSPS) que le confiere tolerancia al herbicida glifosato y glufosinato de amonio y se utilizó como testigo, el híbrido convencional sin contar con la inserción de toxinas Cry, materiales que fueron proporcionados por la empresa Syngenta Agro S. A. de C. V. de México.

El estudio experimental se realizó bajo un diseño en bloques completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron Agrisure® Viptera™ 3111, híbrido convencional e híbrido convencional con control de insectos (híbrido convencional + ci); cuyo establecimiento en las localidades de El Camalote y Oso Viejo se llevó a cabo el 14 y 15 de marzo de 2013 respectivamente. Cada tratamiento consistió de 10 surcos de 5 m de largo y espacio entre surcos de 0.8 m, con una densidad de siembra de 40 semillas por surco y aclareo posterior a 34 plantas por surco. El ensayo fue rodeado con un bordo de maíz convencional que consistió de 6 surcos de 5 m de largo y otro bordo de las mismas dimensiones separando cada

al., 2008; Hardke *et al.*, 2011); being a practical option to control these insects in the field, reducing the entry points for pathogenic fungi.

Whereas GM maize was authorized to prove its effectiveness during 2009-2013 in Mexico under experimental conditions, this research was to evaluate the incidence and severity of ear rot by *Fusarium* sp., in GM maize with Agrisure® Viptera™ 3111, in the agricultural area of Sinaloa.

The research was conducted in the sinaloense coastal plain ecoregion, in the towns of El Camalote and Oso Viejo, in Culiacan, Sinaloa, Mexico, during autumn-winter cycle. The corn hybrid used with the event Agrisure® Viptera™ 3111 that express Cry1Ab toxin from *B. thuringiensis* var. *Kurstaki* strain HD1 and Vip3Aa20 from *B. thuringiensis* strain AB88 that confer resistance to Lepidoptera such as *Agrotis ipsilon* (Hufnagel), *Diatraea saccharalis* (Fabricius), *S. frugiperda*, *Spodoptera exigua* (Hübner), *Heliothis virescens* (Fabricius), *H. zea*, among others and mCry3A toxin from *B. thuringiensis* subspecies *tenebrionis* which confers resistance to *Diabrotica* (Chevrolat in Dejean) species; and also expresses the mutated enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate-synthase (mEPSPS) which confers tolerance to the herbicide glyphosate and glufosinate ammonium and as control was used, the conventional hybrid without the insertion of Cry toxins, materials that were provided by the company Syngenta Agro S.A. de C.V. of Mexico.

The experimental study was conducted under a randomized complete block with three treatments and four replications. Treatments were Agrisure® Viptera™ 3111, conventional hybrid and conventional hybrid with insect control (conventional hybrid + ci); whose establishment in the towns of El Camalote and Oso Viejo took place on March 14 and 15 2013 respectively. Each treatment consisted of 10 rows 5 m long and row spacing of 0.8 m, with a seeding density of 40 seeds per row and subsequent thinning to 34 plants per row. The trial was surrounded with conventional maize board consisting of six rows 5 m long and another border of the same dimensions separating each replication of the study. At the end of the production cycle, before harvest, 10 ears at random were counted among the four central rows in each replication and incidence was assessed, understood as the number of ears showing disease symptoms and severity (total area %) of disease (rot). The data were transformed by square root of arcsine and subjected to ANOVA and comparison

repetición del estudio. Al final del ciclo productivo, antes de la cosecha, se contabilizaron 10 mazorcas de forma aleatoria entre los cuatro surcos centrales en cada repetición y se evaluó la incidencia, entendido como el número de mazorcas que mostraron síntomas de la enfermedad y la severidad (área total, %) de la enfermedad (pudrición). Los datos se transformaron por raíz cuadrada de arco seno y se sometieron a un ANVA y la comparación de las medias de los tratamientos se realizó con una prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$), utilizando el software SAS/STAT (SAS Institute, 2002).

Cabe mencionar, que las siembras se realizaron en condiciones de bioseguridad, en parcelas con una distancia de más de 500 m de cualquier otra siembra comercial de maíz y con un desfase de 50 días en la fecha recomendada de siembra, para no coincidir con la etapa de floración de los predios vecinos y evitar la polinización cruzada; protocolo a seguir para cumplir con los requerimientos de regulación para experimentación en campo con maíz GM en México (LBOGM, 2005; Halsey *et al.*, 2005).

Bajo esta condición de bioseguridad, no se permitió extraer tejido vegetal, previendo cualquier dispersión de material GM, por esta razón el agente causal de la pudrición de mazorcas fue identificada solo bajo condiciones de campo, a partir de la sintomatología visual en cada mazorca, observándose desarrollo de micelio algodonoso blanquecino a rosado sobre la superficie o entre los granos y en algunos granos germinación prematura, característico de *Fusarium* sp., probablemente la especie *moniliforme*; de acuerdo a la descripción de De León (1997) y con base en la guía de identificación en campo de enfermedades del cultivo de maíz desarrollada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2004).

La aplicación de insecticida se dirigió al control de lepidópteros, principalmente a *S. frugiperda* bajo un umbral de infestación 10% en plantas menores a los 20 cm y 20% en plantas mayores de 20 cm, basado en los convencionales, a razón de dos aplicaciones durante el ciclo de cultivo con Benzoato de emamectina (Denim® 19 CE, 200 mL ha, Syngenta Agro S. A. de C.V. de México). El manejo agronómico del cultivo durante el desarrollo del experimento se realizó con base a las prácticas típicas de la región y de acuerdo con la guía técnica para el cultivo de maíz desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2010).

of means of the treatment was performed with a multiple range test of Tukey ($p < 0.05$) using SAS/STAT software (SAS Institute, 2002).

It is worth mentioning that plantings were conducted under biosafety conditions, in plots with a distance of more than 500 m from any other commercial planting of corn and with a lag of 50 days at the recommended planting date, to not match with flowering stage of neighboring fields and avoid cross-pollination; protocol to follow to meet regulatory requirements for field experiments with GM maize in Mexico (LBOGM, 2005; Halsey *et al.*, 2005).

Under this biosafety condition, it was not allowed to extract plant tissue, avoiding any spread of GM material, for this reason the causative agent of ear rot was identified only under field conditions, from visual symptoms in each ear, observing the development of a cottony white mycelium to pink on the surface or between grains and in some grains of premature germination, characteristic of *Fusarium* sp, probably moniliforme species; according to the description from De León (1997) and based on the identification guide on field of corn crop diseases developed by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT, 2004).

Insecticide application was addressed to control lepidoptera, mainly *S. frugiperda* under an infestation threshold of 10% in plants smaller to 20 cm and 20% in plants higher than 20 cm, based on conventional, at rate of two applications during the growing cycle with emamectin benzoate (Denim® 19 CE, 200 mL ha, Syngenta Agro S.A. de C.V. of Mexico). Agronomic crop management during the course of the experiment was conducted based on typical practices of the region and according to the technical guide for the cultivation of corn developed by the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP, 2010).

The percentage of ears affected and severity degree of the disease attributed to phytopathogenic fungus *Fusarium* sp., was lower in plots with corn Agrisure® Viptera™ 3111, compared to conventional maize plots, including control with insecticide in both experimental locations. However, in El Camalote there was no significant difference in the incidence and severity of ear rot among the materials, while in Oso Viejo there was significant difference between treatments ($p < 0.05$) (Table 1).

El porcentaje de mazorcas afectadas y el grado de severidad de la enfermedad atribuida al hongo fitopatógeno *Fusarium* sp., fue menor en las parcelas de maíz con el evento Agrisure® Viptera™ 3111, en comparación con las parcelas de maíz convencional, incluido el control con insecticida en ambas localidades experimentales. No obstante, en la localidad de El Camalote no hubo diferencia significativa en la incidencia y severidad de pudrición de mazorca entre los materiales evaluados, mientras que en la localidad de Oso Viejo si hubo diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$), (Cuadro 1).

The lower incidence and severity of ear rot in Agrisure® Viptera™ 3111, it is probably due to the protection of the plant to the attack of pests, mainly corn earworm and armyworm (the latter feeds on the cob), giving as a result fewer infested cobs, or significantly smaller lesions, preventing infestation pathogens, which is contrary to the conventional hybrid without insect control. For hybrid with control with insecticide, this sometimes does not match the developmental stages of the pest and its effect is temporary, since the chemical only protects the plant during the residual period thereof, besides not having an

Cuadro 1. Incidencia y severidad (± SD) de pudrición de mazorca por *Fusarium* sp., en maíz genéticamente modificado y convencional en las localidades de El Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, México.

Table 1. Incidence and severity (± SD) of ear rot by *Fusarium* sp., in genetically modified and conventional maize in the localities of El Camalote and Oso Viejo, Culiacan, Sinaloa, Mexico.

Material genético	Localidad	Incidencia (%) ¹	Severidad (%) ¹
Agrisure® Viptera™ 3111	El Camalote	47.2 ± 16.9 a	22.5 ± 8.2 a
Híbrido convencional + ci	El Camalote	54.7 ± 16.7 a	27.1 ± 6.8 a
Híbrido convencional	El Camalote	59.4 ± 14 a	35.2 ± 6.2 a
		$F=0.48; gl=2,11$ ns	$F=2.71; gl=2,11$ ns
Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	25.7 ± 9.8 a	7.6 ± 4.5 a
Híbrido convencional + ci	Oso Viejo	67.5 ± 4.7 b	38.7 ± 14.2 b
Isolínea	Oso Viejo	80.8 ± 10.6 b	53.5 ± 9.9 b
		$F=64.61; gl=2,11$ ***	$F=23.62; gl=2,11$ **

¹Datos transformados por raíz cuadrada de arcoseno, ci= control con insecticida, medias entre tratamientos por cada localidad con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$). **, *** Indica significancia contraste valor F a $p < 0.01$, $p < 0.001$ respectivamente; ns, no significativo.

La menor incidencia y severidad de pudrición de mazorca en el evento Agrisure® Viptera™ 3111, probablemente es debido a la protección de la planta hacia el ataque de plagas, principalmente el gusano elotero y cogollero (este último cuando se alimenta de la mazorca), dando como resultado un menor número de mazorcas infestadas, o con lesiones significativamente más pequeñas, previniendo la infestación por patógenos, situación contraria en el híbrido convencional sin control de insectos. En el caso del híbrido con control con insecticida, este en ocasiones no coincide con las etapas de desarrollo de la plaga y su efecto es temporal, puesto que el producto químico solo protege a la planta durante el periodo de residualidad del mismo, además de no tener un efecto eficaz sobre estos insectos, debido a que la larva dentro de la mazorca no está expuesta al ingrediente activo, al estar protegida por las brácteas del elote.

effective effect on these insects, because the larva inside the ear is not exposed to the active ingredient, being protected by corn bract.

La protección del cultivo al ataque de lepidópteros, evaluada mediante el daño en mazorca por gusano elotero *H. zea*, quedó demostrada en este híbrido GM en 2013, a la par de la

Crop protection to lepidopteran attack, assessed through ear damage by corn earworm *H. zea*, was demonstrated in this GM hybrid in 2013, at the same time with the assessment of ear rot for this agricultural area by Aguirre *et al.* (2015); who demonstrated the effectiveness of inserted proteins in corn on earworm observing that these hybrids conferred resistance to attack of this pest by killing it or reducing its growth causing less damage to corn; effect that confers to corn an indirect additional benefit, because preventing damage by infestations of corn earworm and reducing the damage on the cob, also reduces the formation of entry points for pathogenic fungi that develop in susceptible tissue, causing a reduction in contamination of corn kernels that produce rots caused by *Fusarium* compared to conventional maize plants, which under favorable conditions ear rot can make the difference

evaluación de la pudrición de mazorca para esta zona agrícola por Aguirre *et al.* (2015); quienes demostraron la eficacia de las proteínas insertadas en el maíz sobre el gusano elotero, observándose que estos híbridos le confieren resistencia al ataque de esta plaga matándola o reduciendo su crecimiento causando menor daño al elote; efecto que le confiere al maíz un beneficio adicional indirecto, pues al prevenir el daño por infestaciones de gusano elotero y reducir el daño en la mazorca, también reduce la formación de puntos de entrada para hongos fitopatógenos que se desarrollan en el tejido susceptible, ocasionando una reducción en la contaminación de granos de maíz que producen podredumbres causados por *Fusarium* comparado con plantas de maíz convencional, lo cual; bajo condiciones favorables para la pudrición de mazorca puede hacer la diferencia entre un cultivo con rendimientos bajos o una buena cosecha, principalmente en regiones donde la enfermedad es favorecida por la alta humedad en el ambiente.

Es importante minimizar la presencia de *Fusarium* en el grano, ya que la pudrición de mazorca provoca severas pérdidas de cosecha (Betanzos, 2001), limitando su comercialización, ya que el nivel tolerable de contaminación es 5% de daño permisible y constituye un problema de salud pública por las micotoxinas que produce el fitopatógeno cuando su incidencia y el daño es alto (Mendoza *et al.*, 2006; Betanzos *et al.*, 2009; García *et al.*, 2012).

Este maíz GM no ha sido desarrollado para el control de enfermedades como la pudrición de mazorca, sin embargo; el resultado encontrado en el presente estudio demuestra que los híbridos de maíz con el evento Agrisure® Viptera™ 3111 presentan menor incidencia y severidad por *Fusarium* sp., lo que podría indicar, que bajo ciertas condiciones, el uso de maíz Bt podría favorecer la inocuidad humana y animal debido a la disminución de los riesgos por consumo de micotoxinas [aflatoxinas, fumonisinas, tricotecenos, zearalenonas, etc.] que afectan la calidad del grano; resultados congruentes con lo encontrado por Munkvold *et al.* (1997); Munkvold *et al.* (1999); Munkvold y Hellmich (1999); Masoero *et al.* (1999); Bakan *et al.* (2002); Clements *et al.* (2003); Wu (2006); Aguirre *et al.* (2014); quienes sugieren que los híbridos de maíz GM con la inserción de una toxina Cry para el control de insectos influyen en la incidencia y severidad de pudrición de mazorca causada por *Fusarium* sp., reportando estos; menor pudrición de mazorca e incluso un menor contenido de fumonisinas, en algunos casos 9-10 veces menos en el maíz genéticamente modificado en comparación con sus convencionales.

between a crop with low yields or a good harvest, mainly in regions where the disease is favored by high humidity in the environment.

It is important to minimize the presence of *Fusarium* in grain, since ear rot causes severe crop losses (Betanzos, 2001), limiting their marketing, because the tolerable level of contamination is 5% of allowable damage and constitutes a problem to public health by mycotoxins produced by the plant pathogen when its incidence and damage is high (Mendoza *et al.*, 2006; Betanzos *et al.*, 2009; García *et al.*, 2012).

This GM maize has not been developed for the control of diseases such as ear rot, however; the result found in this study shows that corn hybrids with event Agrisure® Viptera™ 3111 show lower incidence and severity of *Fusarium* sp., which could indicate that under certain conditions, the use of Bt corn could favor human and animal safety due to the reduced risk by mycotoxin consumption [aflatoxins, fumonisins, trichothecenes, zearalenones, etc.] that affect grain quality; consistent with the findings of Munkvold *et al.* (1997); Munkvold *et al.* (1999); Munkvold and Hellmich (1999); Masoero *et al.* (1999); Bakan *et al.* (2002); Clements *et al.* (2003); Wu (2006); Aguirre *et al.* (2014); who suggest that GM maize hybrids with the insertion of a Cry toxin to control insect influence the incidence and severity of ear rot caused by *Fusarium* sp., reporting these as lower ear rot and even less fumonisins content, in some cases 9-10 times less in genetically modified maize compared to conventional maize.

Conclusions

This is one of the first results under the environmental conditions of Mexico, offering an approach on ear rot in genetically modified maize; this because experimental trials with GM maize in the country were only conducted during the years 2009-2013, as permits for subsequent experiments were canceled or detained, which did not allow to monitor this types of assessments. Therefore, it is required to give a step to the next round of experimental tests, more years of analysis and with more replications, to strengthen this type of information in our country and strengthen the conclusions.

End of the English version



Conclusiones

Este es uno de los primeros resultados que se tienen bajo las condiciones ambientales de México, ofreciendo un acercamiento sobre la pudrición de mazorca en maíz genéticamente modificado; esto debido a que las pruebas experimentales con maíz GM en el país solo se realizaron durante los años 2009-2013, dado que los permisos para experimentación posteriores fueron cancelados o detenidos, lo que no permitió dar seguimiento a evaluaciones de este tipo. Por tal motivo, se requiere dar paso a una siguiente ronda de pruebas experimentales, más años de análisis y con mayor número de repeticiones, a fin de reforzar este tipo de información en nuestro país y que fortalezcan las conclusiones.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la compañía Syngenta Agro S. A. de C.V. de México por haber proporcionado los híbridos de la presente investigación.

Literatura citada

- Aguirre, L. A.; Hernández, A.; Flores, M.; Frías, G. A.; Cerna, E.; Landeros, J. and Harris, M. K. 2015. Genetically modified maize resistant to corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Sinaloa, Mexico. *Florida Entomologist*. 98(3):821-826.
- Aguirre, U. L. A.; Frías, T. G. A.; Hernández, J. A.; Flores, D. M.; Cerna, C. E.; Landeros, F. J. and Ochoa, F. Y. M. 2014. Interaction between *Helicoverpa zea* damage with corn cob diseases on genetically modified corn in Sinaloa, México. *J. Life Sci.* 8(4):329-334.
- Bakan, B.; Melcion, D.; Richard, M. D. and Cahagnier, B. 2002. Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain. *J. Agric. Food Chem.* 50(4):728-731.
- Betanzos, M. E.; Ramírez, F. A.; Coutiño, E. B.; Espinosa, P. N.; Sierra, M. M.; Zambada, M. A. y Grajales, S. M. 2009. Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México. *Agric. Téc. Méx.* 35(4):389-398.
- Betanzos, M. E. 2001. Variedades resistentes, una opción para reducir la pudrición de mazorca en Chiapas, México. *Agric. Téc. Méx.* 27(1):57-67.
- Briones, R. D.; Castillo, G. F.; Chávez, S. J. L.; Aguilar, R. V. H.; García, A. C. L. y Ramírez, H. A. 2015. Respuesta del maíz nativo del altiplano mexicano a pudrición de mazorca, bajo infección natural. *Agron. Mesoam.* 26(1):73-85.
- Buntin, G. D. 2008. Corn expressing Cry1Ab or Cry1F endotoxin for fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) management in field corn for grain production. *Florida Entomologist*. 91(4): 523-530.
- Buntin, G. D.; All, J. N.; Lee, R. D. and Wilson, D. M. 2004a. Plant-incorporated *Bacillus thuringiensis* resistance for control of fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Corn. *J. Econ. Entomol.* 97(5):1603-1611.
- Buntin, G. D.; Flanders, K. L. and Lynch, R. E. 2004b. Assessment of experimental Bt events against fall armyworm and corn earworm in field corn. *J. Econ. Entomol.* 97(2):259-264.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. Cuarta edición. México, D. F. 118 p.
- Clements, M. J.; Campbell, K. W.; Maragos, C. M.; Pilcher, C.; Headrick, J. M.; Pataky, J. K. and White, D. G. 2003. Influence of Cry1Ab protein and hybrid genotype on Fumonisin contamination and *Fusarium* ear rot of corn. *Crop Sci.* 43(4):1283-1293.
- De León, C. 1997. Enfermedades del maíz causadas por hongos. *In: I curso Internacional sobre diagnóstico y enfermedades en maíz. Seminario taller de cosecha de maíces de la zona andina.* Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Cochabamba, Bolivia. Editorial PRODUMEDIOS. Bogotá, Colombia. 94 p.
- Desjardins, A. E.; Plattner, R. D. and Nelson, P. E. 1994. Fumonisin production and other traits of *Fusarium moniliforme* strains from maize in northeast Mexico. *Appl. Environ. Microbiol.* 60(5):1695-1697.
- Desjardins, A. E.; Maragos, C. M. and Proctor, R. H. 2006. Maize ear rot and moniliformin contamination by cryptic species of *Fusarium subglutinans*. *J. Agric. Food Chem.* 54(19):7383-7390.
- Duan, J. J.; Teixeira, D.; Huesing, J. E. and Jiang, C. 2008. Assessing the risk to nontarget organisms from Bt corn resistant to corn rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae): tier-I testing with *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthracoridae). *Environ. Entomol.* 37(3):838-844.
- García, G. C.; Lizárraga, S. G. J.; Armenta, B. A. D. y Apodaca, S. M. A. 2012. Efecto de productos biorracionales en la incidencia de hongos y concentración de aflatoxinas en maíz blanco cultivado en Sinaloa, México. *Rev. Científica UDO Agrícola.* 12(4):830-838.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. y Pérez, L. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):33-42.
- Halsey, M. E.; Remund, K. M.; Davis, C. A.; Qualls, M.; Eppard, P. J. and Berberich, S. A. 2005. Isolation of maize from pollen mediated gene flow by time and distance. *Crop Sci.* 45(6):2172-2185.
- Hardke, J. T.; Leonard, B. R.; Huang, F. and Jackson, R. E. 2011. Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection.* 30(2):168-172.
- INIFAP. 2010. Centro de Investigación Regional del Noreste (CIRNO). Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU). Maíz. *In: guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Valle de Culiacán.* Culiacán, Sinaloa; México. 224 p.
- LBOGM. 2005. Diario Oficial de la Federación 18 de marzo de 2005. México, D. F.
- Masoero, F.; Moschini, M.; Rossi, F.; Prandini, A. and Pietri, A. 1999. Nutritive value, mycotoxin contamination and in vitro rumen fermentation of normal and genetically modified corn (Cry1A9b) grown in northern Italy. *Maydica.* 44:205-209.

- Mendoza, E. M.; Andrio, E. E.; López, B. A.; Rodríguez, G. R.; Latournerie, M. L. y Rodríguez, H. S. A. 2006. Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. Agron. Mesoam. 17(1):19-24.
- Mendoza, E. M.; López, B. A.; Oyervides, G. A.; Martínez, Z. G.; De León, C. y Moreno, M. E. 2003. Herencia genética y citoplásmica de la resistencia a la pudrición de la mazorca del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. Rev. Mex. Fitopatol. 21(3):267-271.
- Morales, R. I.; Yañez, M. M. J.; Silva, R. H. V.; García, S. G. and Guzmán, P. D. A. 2007. Biodiversity of *Fusarium* species in Mexico associated with ear rot in maize, and their identification using a phylogenetic approach. Mycopathologia. 163(1):31-39.
- Munkvold, G. P. and Hellmich, R. L. 1999. Genetically modified insect resistant corn: Implications for disease management. APSnet Feature. <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/InsectResistantCorn.aspx>. Online. doi: 10.1094/APSnetFeature-1999-1199.
- Munkvold, G. P.; Hellmich, R. L. and Showers, W. B. 1997. Reduced fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. Phytopathology. 87(10):1071-1077.
- Munkvold, G. P.; Hellmich, R. L. and Rice, L. G. 1999. Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non-transgenic hybrids. Plant Dis. 83(2):130-138.
- Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R. y Violic, A. D. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Depósito de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm>.
- Robledo, M. L.; Marín, S. y Ramos, A. J. 2001. Contaminación natural con micotoxinas en maíz forrajero y granos de café verde en el estado de Nayarit (México). Rev. Iberoam. Micol. 18:141-144.
- SAGARPA. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). www.siap.gob.mx/index.
- SAS. Institute. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS, Institute, Cary N. C. U.S.A.
- Thomas, M. D. and Buddenhagen, I. W. 1980. Incidence and persistence of *fusarium moniliforme* in symptomless maize kernels and seedlings in Nigeria. Mycologia. 72(5):882-887.
- Wu, F. 2006. Mycotoxin reduction in Bt corn: potential economic, health, and regulatory impacts. Transgenic Res. 15(3):277-289.