

Producción potencial de micotoxinas por hongos patógenos aislados en Híbridos de maíz mejorado (Zea mays L)

Silvia Denise Peña Betancourt¹ y M. Guadalupe Vidal Gaona²

Resumen. Se identificó la presencia de hongos potencialmente productores de micotoxinas, al igual que las características de calidad física comercial de tres híbridos de maíz resistentes a enfermedades del *Fusarium* sp. Las muestras se colectaron en cinco predios en dos municipios del estado de Hidalgo durante la primavera-verano de 2007. El estudio micológico se realizó con el método microbiológico tradicional, y para las micotoxinas se utilizó la cromatografía de capa fina y la técnica de inmunoensayo-enzimático (Elisa), y el análisis físico de acuerdo con la legislación nacional (NOM-034). Los resultados obtenidos mostraron altos contenidos de humedad en los tres híbridos comerciales: Oso (50%), leopardo (29%) y 30V46 (36%). El peso de los granos fluctuó entre 295 y 480 g y con un mínimo de 68 hL y un máximo de 74 hL; un contenido de hongos de 2.5×10^3 UFC/g, 1.2×10^3 UFC/g y 1.2×10^3 UFC/g. Se identificaron los hongos del género *Fusarium* sp (76%), *Alternaria* sp (14%), *Penicillium* sp (4%) y *Aspergillus* sp (5%). La concentración de aflatoxinas se observó en el rango de 2 a 13 ng/g y de 0.37 a 0.66 mg/kg para fumonisinas. Se concluye que los maíces híbridos comerciales resistentes al hongo *Fusarium* sp, no lo son

¹ Laboratorio de Toxicología, Departamento de Producción Agrícola y Animal, UAM-X, e-mail: s.denisepeña@gmail.com

² Laboratorio de hongos, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

bajo condiciones ambientales estresantes de temperatura y humedad. Los híbridos identificados como leopardo y 30V46 presentaron niveles de aflatoxinas y fumonisinas seguros para el consumo humano. El maíz híbrido Oso no cumplió con las especificaciones de calidad física ni microbiológica establecidos por la legislación nacional para consumo humano, con un contenido de aflatoxinas no apto para la fabricación de tortillas.

Palabras clave: Micotoxinas, *zea mays*, hongos

Abstract. We identified the presence of fungi potentially produce mycotoxins and commercial physical quality characteristics of three maize hybrids resistant to *Fusarium sp* disease. The samples were collected in five locations in two municipalities of the state of Hidalgo during the Spring-Summer 2007. Mycological study was conducted with the traditional microbiological, the method of thin layer chromatography and inmunonsayo-assay (ELISA) were used by mycotoxins, and physical analysis according to national legislation (NOM-034). The results showed high moisture content in the three commercial hybrids: Oso (50%), leopardo (29%) and 30V46 (36%). The grain weight ranged between 295 and 480 g and at least 68 and a maximum of 74 hl; fungi containing 2.5×10^3 CFU / g, 1.2×10^3 CFU / g and 1.2×10^3 CFU / g. Identified fungi *Fusarium sp* (76%), *Alternaria sp* (14%), *Penicillium sp* (4%), and *Aspergillus sp* (5%), they are considered potentially toxic to human. Aflatoxin levels ranged from 2 to 13 ng / g of fumonisin from 0.37 to 0.66 mg / kg. We conclude that the commercial corn hybrids resistant to the fungus *Fusarium sp*, they are under stressful environmental conditions of temperature and humidity. Hybrids leopard and 30V46 had levels of aflatoxin and fumonisin, safe for human consumption. The oso hybrid maize did not meet quality specifications set by physical or microbiological national legislation for human consumption, and the aflatoxins levels unsafe for making tortillas.

Additional Keywords: Mycotoxins, *zea mays*, fungi

INTRODUCCIÓN

En México, entre 1998 y 2006, se produjeron 19.7 millones de toneladas anuales de maíz en una superficie de 7.4 millones de ha, 84.4% sembradas bajo temporal, a pesar de conocer las variaciones climáticas (altas temperaturas, exceso de lluvias) que se presentan de un año a otro, y a las graves pérdidas que se ocasionan de hasta 1 millón de toneladas anuales (SIAP, Sagarpa, 2007).

La diversidad de microorganismos y plagas que afectan a la planta de maíz durante su desarrollo son susceptibles a variación, dependiendo de su genotipo y de las condiciones ambientales, que puede afectar la calidad e inocuidad del grano, lo que implica una baja disponibilidad del cultivo de maíz a nivel nacional y una disminución del ingreso económico en los productores (Betanzos, 2009). Por lo que el uso de maíces híbridos mejor adaptados a las condiciones del campo agrícola (altura, precipitación pluvial, temperatura) constituye una primera estrategia de los agricultores, la cual deberán considerar con el objeto de evitar pérdidas por la infestación de hongos fitopatógenos (Gaytán *et al.*, 2009), ya que éstos pueden alcanzar pérdidas de 7% a 20% (Betanzos 2009; Gaytán *et al.*, 2009).

La planta de maíz es susceptible a varias enfermedades como el acame de la raíz, roya de la hoja, carbón de la espiga y pudrición de la mazorca, ésta última producida por especies patógenas del género *Fusarium sp.* (Buccio *et al.*, 2003; Molina, 2003). Ante esta situación, diversos investigadores han desarrollado hibridaciones en la semilla de maíz hasta en tres líneas, con atributos agronómicos superiores a los nativos, como los híbridos de ciclo precoz, intermedio y tardío, con un alto contenido de proteína y una mayor resistencia a enfermedades fúngicas y virales (Gámez, 1996). Si bien, la hibridación de la semilla favorece a las características físicas del grano como peso, dureza, densidad y poder germinativo, éstas se encuentran relacionadas con el manejo agronómico como el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, así como también

por una manipulación excesiva de los granos durante la cosecha y por el tipo de secado durante la post-cosecha. La calidad física y sanitaria del grano de maíz es importante ya que la presencia de material extraño o impurezas y de microorganismos patógenos, como los hongos, influye sobre el valor energético y la inocuidad, ésta última puede incluso ser motivo de rechazo comercial. En México, las características de calidad del grano de maíz para su comercialización están descritas en la Normas Oficiales (NMX-034, NMX-FF-034/2-SCFI-2003; NMX-FF/I-SCFI-2002).

Los insectos han sido relacionados con el transporte de hongos patógenos como *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.* y *Penicilium sp.* (Braide *et al.*, 2011). Entre los grupos de insectos que frecuentemente se han reportado son: *Hymenoptera*, *Lepidoptera* y *Diptera*; los hongos ingresan a la raíz de la planta de maíz (Pereira *et al.*, 2009; Braide *et al.*, 2011). Otro de los factores que influye directamente sobre el desarrollo de hongos y sus micotoxinas es el clima, ya que las intensas lluvias, durante la germinación de la semilla, ocasionan un desequilibrio hídrico que favorece el desequilibrio de la densidad de las poblaciones fúngicas y bacterianas, los hongos aprovechan sus esporas y pueden llegar hasta el grano, causando un deterioro físico y pudrición de la mazorca (Torenti, 2004). El aumento de la temperatura puede ocasionar una disminución en el rendimiento de forraje y grano por hectárea (Askun, 2006). El efecto combinado de oxígeno y humedad del medio ambiente favorece la síntesis de micotoxinas, las cuales una vez instaladas no se pueden eliminar, por lo que pueden, dependiendo de su contenido (dosis), constituir un riesgo para la salud humana y animal (Meerdink, 2002; Betanzos, 2009).

El *Aspergillus flavus* es un hongo que sintetiza aflatoxinas, las que provocan hepatotoxicidad en aves, cerdos, bovinos, ovinos y en los animales de laboratorio, causando cambios morfológicos en las células hepáticas como la modificación en el nucléolo, desarreglo y reducción en el número de ribosomas, proliferación del retículo endoplásmico liso y degeneración de mitocondrias, lo que ocasiona una disminución en la síntesis de proteína. El *Fusarium verticillioides* y *F. oxysporum* presentan

gran diversidad toxigénica, mismos que sintetizan la fusariotoxina F-2, una micotoxina con actividad estrogénica. La intoxicación por esta micotoxina ha sido detectada en cerdos, tanto hembras como machos, los cuales han mostrado un aumento del tamaño del prepucio y glándulas mamarias (Acosta *et al.*, 2011). *Fusarium verticilloides* sintetiza fumonisinas, que han sido involucradas con el desarrollo de cáncer esofágico en humanos (Duarte y Villamil, 2006; Gallardo *et al.*, 2006; Soriano y Dragacci, 2004). El género *Penicillium sp* representa un amplio número de especies de hongos filamentosos, identificados por lo menos 300 especies, así *Penicillium ochraceus* produce *Ocratoxina A*, cuya toxicidad está asociada al anillo isocumarínico de su molécula que afecta principalmente el riñón y de la cual se han detectado niveles de 10 ng/g, incluso en salchichas y jamón (Naccha *et al.*, 2005); *Alternaria spp.* es un hongo ubicuo y saprófito, y su especie alternata es capaz de sintetizar diferentes micotoxinas, entre las cuales son frecuentes el alternariol y alertoxinas, cuya toxicidad no ha sido suficientemente investigada en México.

Los efectos tóxicos de las micotoxinas sobre la salud humana son conocidos desde la Edad Media, registrándose enfermedades en los trabajadores del campo después de la cosecha de centeno; intensa documentación ha sido desarrollada desde entonces, la toxicidad de las micotoxinas ha sido intensamente estudiada en órganos diana como el hígado y pulmón, así como en los sistemas inmune y nervioso. Por lo que la toxicidad de las micotoxinas en animales se asocia con un bajo consumo de alimento, pobre crecimiento, baja producción, reducción en la fertilidad e inmunosupresión (Acosta *et al.*, 2011).

Las técnicas de aislamiento microbiológicas convencionales en los alimentos crudos y procesados son utilizadas todavía, a pesar de que actualmente la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) permite identificar las especies patógenas en menor tiempo (Pavón *et al.*, 2012). La técnica oficial de monitoreo para micotoxinas es la cromatografía de capa fina (CCF), en muchos laboratorios se utiliza la cromatografía

líquida acoplada a la espectroscopía de masas-masas HPLC/MS/MS (Shepard *et al.*, 2012).

En el ciclo agrícola 2007, se destinaron 33 450 ha al cultivo del maíz en el Valle del Mezquital, Hidalgo, debido a la introducción de 15 nuevos maíces híbridos. El estado cuenta con 27 municipios y está localizado en la meseta central de México, se ha caracterizado por la siembra de maíces nativos con rendimientos inferiores a las 3 tons/ha (Pérez *et al.*, 2006). El método de siembra utilizado en los municipios de Tlaxcoapan y Tlahuelilpan es de alta densidad, en triple hilera, utilizando agua residual para los riegos. En la cosecha 2006, algunos municipios del Valle del Mezquital sufrieron graves pérdidas en la cosecha de maíz, al presentarse en sus parcelas plantas caídas, mazorcas de menor tamaño, con granos decolorados de color oscuro y hojas con la presencia de un polvillo de color rosa (Señor Cruz, comunicación personal). Por tal motivo el objetivo del presente estudio fue aislar e identificar los hongos patógenos presentes en la micoflora y su potencial producción de micotoxinas en maíces híbridos comercializados en dos municipios del Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el ciclo agrícola P-V 2007, en condiciones de riego en los municipios de Tlaxcoapan y Tlahuelilpan, estado de Hidalgo. Localizados en la zona de transición del valle de México a una altura de 2080 m, caracterizado por un clima templado con lluvias en verano. En el Municipio de Tlaxcoapan se visitaron los predios de La Barranca, el Dren y San Miguel, en los cuales se colectaron 12 mazorcas del maíz híbrido Oso, bajo un sistema estratificado en W de diez puntos. En el Municipio de Tlahuelilpan se visitaron los predios La Estación y CBetis, colectando los híbridos Leopardo y 30V46. Las características agronómicas de los maíces híbridos se presentan en el cuadro 1, y la ubicación de

las colectas en el cuadro 2. Las mazorcas se transportaron al laboratorio de Toxicología donde se desgranaron manualmente, se identificaron y se almacenaron.

Cuadro 1. Características agronómicas de los maíces híbridos colectados en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo, México

Tipo de maíz	Identificación comercial	Cruza	Ciclo vegetativo
Híbrido	Oso	Trilineal	Intermedio-precoc
Híbrido	Leopardo	Trilineal	Precoc
Híbrido	30V46	Trilineal	Intermedio

Cuadro 2. Características agroecológicas de los Municipios evaluados en el estado de Hidalgo

Municipio	Clima	Altura (m)	Temp (°C).	Precipitación pluvial (mm)
Tlaxcoapan	Templado (Cw)	2060	17	850
Tlahuelilpan	Templado (Cw)	2040	12	675

Descripción del Valle del Mezquital

Está ubicado en la meseta central en la zona de transición, a 2100 m. El municipio de Tlaxcoapan está localizado a 65 km de la ciudad de Pachuca; al noroeste colinda con Tezontepec de Aldama, al norte con el municipio de Tlahuelilpan, al oriente con Tetepango, al sur con Atitalaquia y al poniente con la ciudad de Tula de Allende. Tlahuelilpan, colinda al norte

con Mixquiahuala, al sur con Tlaxcoapan, al oriente con Tetepango y al poniente con Tezontepec de Aldama. Ambos municipios presentan un clima templado, con una temperatura media anual de 17°C y una precipitación pluvial entre 680 a 850 mm por año.

Pruebas de laboratorio

Se determinó el contenido de humedad, siguiendo el método 44-40 (AACC, 2001); los granos se secaron a una temperatura de 50°C durante 48 h. La calidad comercial se evaluó de acuerdo con la NMX-FF-034/2-SCFI-2003, separando y cuantificando los daños y las impurezas, manualmente. Para la prueba de germinación se utilizaron 25 semillas con tres repeticiones usando como sustrato la agrolita y siguiendo la metodología del ISTA (1995). Para determinar el peso de 1000 granos se seleccionaron y pesaron al azar 100 granos de cada maíz, en una microbalanza con sensibilidad de 0.001 g, y el resultado en gramos se multiplicó por diez. El análisis del peso hectolítrico se realizó de acuerdo al método 55-10 (AACC, 2001). Para la cuenta total de microorganismos se utilizaron 100 granos de cada muestra de maíz híbrido comercial al azar, se desinfectaron con hipoclorito de sodio (NaOCl al 2%) y se sembraron 20 granos por caja de Petri sobre una superficie del medio agar malta (MA), agar-malta-sal (MSA) y Papa -dextrosa agar (PDA)-, se incubaron durante 7 días a 25 °C. Se contabilizaron las colonias y se expresaron como UFC/g. La identificación de las colonias se realizó previa tinción con azul de lactofenol al microscopio de luz, basada en las estructuras macroscópicas y microscópicas de cada colonia, utilizando las claves de Sampson y Pitt (2000) y Raper y Fenell (1965). La densidad microbiológica de cada maíz híbrido se expresó en unidades formadoras de colonias (UFC/g).

Para el análisis preliminar de aflatoxinas se utilizó la cromatografía de capa fina, y para la cuantificación un ensayo inmunoenzimático (Elisa) comercial. Se pesaron 500 g de cada muestra por duplicado y

se molieron en molino eléctrico, se pesaron 50 g de maíz molido y se colocaron en un vaso de licuadora de 500 ml marca Waring con 5 g de NaCl, se adicionaron 100 mL de la mezcla metanol y agua destilada a una proporción de 80:20 (v/ v) y se mezclaron a alta velocidad por 3 minutos. El extracto se pasó por un filtro de papel Whatman no4 y se colectaron 25 ml. La purificación del extracto se realizó bajo una columna C-18, eluyéndose las aflatoxinas con 6 ml de cloroformo y acetona a una proporción de 9:1v/v. 50 μ L del extracto purificado y se aplicó en placas de silica gel 60 (Merck) de fase reversa C-18, a 1 cm de distancia, para ser introducida en una cámara de desarrollo de 10 x 10 cm, en un sistema de solventes a base de acetona y tolueno (1:1 v/v/). Las placas fueron expuestas a la luz ultravioleta a una longitud de onda corta (250 nm). Las muestras con un color azul y una distancia recorrida igual a 0.50 indicó la presencia de aflatoxinas tipo B, por tener la misma coloración azul y la distancia frontal que los estándares de aflatoxina B1 y B2. Para la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas se utilizaron pruebas inmunoenzimáticas (Elisa) de la marca Ridascreen. Se pesan 5 g de cada muestra finamente molida y se realiza una extracción metanólica, aplicando 50 μ L en cada pocillo de la microplaca. Una vez finalizado el protocolo, se lee la absorbancia a una longitud de onda de 450 nm, que se compara con la absorbancia de los estándares de aflatoxinas y fumonisinas totales, incluidos en el kit comercial.

Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado para el análisis de datos fue completamente al azar, y para la comparación de medias entre híbridos y entre localidades se usó la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

RESULTADOS

En los cuadros 1 y 2 se presentan las características agronómicas de los maíces híbridos evaluados y las características agroecológicas de los municipios en estudio. El grado de contaminación por microorganismos en los híbridos se presenta en el cuadro 3, en donde se puede observar un alto nivel de contaminación en el híbrido Oso, con una cuenta total de 2.5×10^3 UFC/g, seguido del híbrido Leopardo con 1.270×10^3 , y del híbrido 30V46 con 1.260×10^3 . Se identificaron los hongos *Fusarium sp* y *Penicillium sp* en las tres variedades de maíz híbrido; *Alternaria sp* sólo en el maíz híbrido Oso. Las especies identificadas fueron *Penicillium ocraceus*, *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium oxysporum* y *F. moniliforme*.

Cuadro 3. Micoflora de variedades de maíz híbrido comercial procedentes de la cosecha 2007-2008, del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo

	Híbrido comercial (Oso) del Municipio de Tlaxcoapan	Híbrido comercial (Leopardo) Municipio de Tlaxcoapan	Híbrido comercial (30V46) Municipio de Tlahuelilpan
Total mycoflora*	2.5	1.3	1.2
<i>Fusarium sp</i>	1.4	.99	.89
<i>Penicillium sp</i>	4%	5%	1%
<i>Alternaria sp</i>	14%	NF	NF
<i>Fusarium oxysporum</i>	38%	NF	NF
<i>Aspergillus sp</i>	10%	NF	NF
<i>Fusarium moniliforme</i>	3%	5%	10%
<i>Aspergillus flavus</i>	25%	5%	5%

*x 10^3 CFU/g; NF: no encontrado

La calidad comercial de los híbridos se presenta en el cuadro 4, en el que se observa la variación entre ellos, siendo el híbrido 30V46 el mejor en las tres localidades evaluadas; el híbrido Leopardo presentó un alto contenido de granos dañados por hongos; el híbrido Oso, de la localidad la barranca, presentó un alto contenido de impurezas, daños por calor y hongos; sin embargo, la calidad comercial de este híbrido mejoró en la localidad de San Miguel.

Cuadro 4. Valores promedio de la calidad comercial de tres híbridos de maíz procedentes de los municipios de Tlaxcoapan y Tlahuelilpan, en el estado de Hidalgo.

Tipo de maíz	Contenido de Hongos (%)	Daño por exceso de manipulación (%)	Daño por calor (%)	Contenido de impurezas (%)	Suma de daños (%)	Clasificación México 1,2,3,4
Oso Predio la barranca del municipio Tlaxcoapan	3.1	1.20	6.22	6.40	16.90	4
Oso Predio San Miguel del Municipio Tlaxcoapan	0.79	1.76	0.28	1.06	3.89	2
Leopardo Municipio Tlahuelilpan	15.5	0.50	1.1	-	17.1	3

30V46 Predio Cbtis del Municipio de Tlaxcopan	1.4	0.08	1.2	0.05	2.77	1
30V46 La bodega, de Tlahueipan		0.8	1.0	-	1.84	1
30V46 La Acequia, de Tlahuelilpan		0.30	1.0	-	1.30	1

El contenido de humedad y las características físicas promedio de cada genotipo se presentan en el cuadro 5. En él se puede apreciar una diferencia en el contenido de humedad entre los maíces evaluados. El mayor contenido se detectó en el maíz híbrido Oso con 50%, seguidos por 30V46 con 35% y Leopardo con 29%; el peso de 1000 semillas fue variable dependiendo del genotipo, cuyos valores se encontraron en un mínimo de 295 g y un máximo de 480 g; el peso hectolítrico se detectó entre 68 a 74 Kg hL. El peso de 1000 semillas para el maíz Leopardo fue mayor que el del híbrido 30V46.

Cuadro 5. Características físicas de los maíces híbridos Oso, Leopardo y 30V46, cosecha P-V 2007 del estado de Hidalgo

Tipo de maíz	Humedad (%)	Peso 1000 granos	Peso hectolítrico hL ⁻¹
Híbrido Oso	50	325	70
Híbrido Leopardo	29	480	74
Híbrido 30V46	35	295	68
Estándar de certificación comercial	37	200-550	74

La presencia y nivel de micotoxinas detectadas en los 3 híbridos de maíz se presenta en el cuadro 6, en donde se observa que el híbrido Leopardo fue el de mayor contaminación por fumonisinas, mientras que el híbrido Oso por aflatoxinas. El híbrido de maíz 30V46 fue el de menor contaminación.

Cuadro 6. Identificación y cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz mejorado

Tipo de maíz	Contenido de Fumonisinias (mg Kg)	Contenido de Aflatoxinas ng g
30V46	0.37	2
Oso	0.15	13
Leopardo	0.66	7

DISCUSIÓN

El alto contenido de humedad que mostraron los híbridos posiblemente se debió a las diferencias en su ciclo vegetativo, ya que la madurez fisiológica de cada uno se alcanzó en diferentes momentos, como se pudo apreciar con los maíces Oso y Leopardo de ciclo vegetativo precoz, que fueron los de mayor humedad, mientras que el maíz híbrido 30V46 de ciclo intermedio fue el que mostró el menor contenido de humedad. La diferencia del contenido de humedad entre los híbridos se puede explicar por el microclima de los predios en cada municipio, además, el maíz híbrido Oso tuvo una menor capacidad para perder agua debido al grosor de su cubierta (dureza), ya que el grosor del grano puede variar de 3.81 a 4.63 mm, según su genotipo (Jiménez *et al.*, 2012). El peso como indicador del tamaño del grano es una característica importante para la industria de la harina porque a mayor tamaño o peso del grano mayor

proporción de endospermo y mayor rendimiento de harina (Mauricio, 2004), por lo tanto el maíz híbrido Leopardo resultó el más adecuado para la fabricación de la tortilla. Las diferencias de peso hectolítrico observadas en los maíces se debió al genotipo, las condiciones de cultivo y al estrés climático, como se observó en el maíz 30V46; las condiciones del sitio de cultivo posiblemente derivó en un retraso en su antesis, aunado a las bajas temperaturas e inusual precipitación pluvial ocasionando una disminución del tamaño del grano, por lo que no pudo alcanzar el peso hectolítrico mínimo que especifica la NOM-032/2002, que es de 74 kg L. El maíz híbrido Leopardo por el contrario alcanzó el peso hectolítrico y el tamaño óptimo ($>300 \text{ g } 1000^{-1}$) para la producción de tortillas, de acuerdo con Rooney y Suhendro, 2001, lo que indica la importancia que tiene no sólo el genotipo, sino también las condiciones del medio ambiente en el destino final del grano.

El alto contenido de unidades formadoras de colonias, detectado en el maíz híbrido comercial Oso de 2.5×10^3 , indica la susceptibilidad del genotipo al ataque de plagas, la cual pudo favorecerse por el exceso de lluvia que se presentó en el predio La Barranca, municipio de Tlaxcoapan, durante el ciclo primavera-verano 2007, y por efecto de la altitud del sitio de cultivo. Cabe destacar que las colonias fúngicas que se identificaron en los granos de los maíces híbridos, como especies *Fusarium*, *Alternaria* y *Aspergillus*, han sido señaladas por otros autores (Acosta *et al.*, 2001). En este estudio se identificaron *Fusarium verticillioides*, *F. oxysporum*, *Alternaria alternata* y *Aspergillus flavus*, especies potencialmente productoras de fumonisinas, alternariol y aflatoxinas, sustancias químicas de alta peligrosidad para la salud humana y animal (Molina *et al.*, 2004; Robledo *et al.*, 2001). La calidad comercial del maíz híbrido Oso varió entre los predios como se puede apreciar en el cuadro 4. El maíz procedente del predio La barranca presentó una menor calidad al compararse con la del predio San Miguel, lo cual confirma que el genotipo se relaciona con las condiciones de cada microclima, ya que en el predio La Barranca se presentaron altas temperaturas y estrés hídrico,

lo que no ocurrió en San Miguel. El maíz híbrido Leopardo presentó un alto contenido de daño por hongos, 1.3×10^3 , sin embargo, fue menor al observado en el maíz Oso; cabe mencionar que este maíz ya había presentado una alta incidencia al carbón de la espiga y a la pudrición de la mazorca, y un bajo rendimiento por ha en el mismo estado, y en diferentes municipios (Pérez *et al.*, 2006).

El maíz híbrido 30V46, procedente del municipio de Tlahuelilpan, mostró el menor contenido de hongos (1.2×10^3) y la mejor calidad comercial, lo cual fue determinante para evitar la entrada de plagas, por lo que se considera un híbrido resistente y con mayor adaptabilidad al municipio, sin embargo, tuvo el menor poder germinativo (64%) que, de acuerdo con Kebede *et al.*, 2012, se debió a su genotipo como respuesta fisiológica al estrés hídrico sufrido por la planta durante su crecimiento y también debido al grosor de su corteza observado a través del peso, que fue de 300 g, ya que esta característica física se relaciona con la proporción que existe entre el pericarpio y endospermo, así como por su baja densidad, que fue de 68 kg L, y como lo indican Gorim y Asch (2012), éstas son características físicas que influyen en el poder germinativo de la semilla.

El nivel detectado de fumonisinas en los maíces híbridos Oso, Leopardo y 30V46 coincide con el detectado por Gallardo *et al.* (2006), que es de $0.4 \mu\text{g g}$, y que de acuerdo con la legislación internacional se consideran niveles seguros para el consumidor, establecido como límite máximo para fumonisinas $1 \mu\text{g g}$. Sin embargo, el nivel detectado de aflatoxinas en el maíz híbrido Oso rebasa el límite máximo permitido para la tortilla, por lo tanto este maíz no podría ser utilizado para hacerla, pues la Aflatoxina B1 causa errores en la transcripción del ADN, lo que permite realizar cambios genéticos en la célula, principalmente hepática; estudios epidemiológicos han involucrado a la AfB1 en neoplasias gastrointestinales y hepáticas en personas de origen africano y asiático, de acuerdo con Carvajal *et al.*, 2012.

CONCLUSIONES

La mayoría de los híbridos analizados presentaron un alto contenido de humedad, así como variaciones en el tamaño y peso hectolítrico, asociadas a su genotipo. Un contenido de hongos superior a lo establecido en la regulación sanitaria. Los hongos identificados pertenecientes a los géneros *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.*, *Alternaria sp.*, y *Aspergillus sp.*, siendo el *Fusarium verticillioides* la especie de mayor frecuencia. El maíz híbrido comercial Oso presentó la mayor contaminación por especies fúngicas de *Alternaria alternata*, *Fusarium verticillioides*, *F. oxysporum* y *Aspergillus flavus*. El maíz híbrido 30V46, procedente de tres predios del municipio de Tlahuelilpan, mostró las características de calidad física adecuadas para la industria de la masa y la tortilla.

En este estudio se identificó la presencia de fumonisinas y aflatoxinas en híbridos de maíz blanco resistentes a hongos y de consumo humano. El maíz híbrido Oso fue el de mayor contaminación por aflatoxinas, por encima de la legislación europea para maíz de consumo humano. Por ello se recomienda ampliar el monitoreo de las muestras para poder incluir la información en los programas de fitomejoramiento nacionales de maíz. No todos los maíces híbridos considerados resistentes a enfermedades muestran su resistencia en campo, debido a las condiciones de estrés ambiental. La producción de maíz debe asegurarse en el campo mexicano a través del uso de maíces híbridos mejorados que hayan sido evaluados previamente en su localidad con la finalidad de obtener los mayores rendimientos y la mejor calidad física y nutricional, así como libre de microorganismos patógenos que puedan ocasionar un daño a la salud pública. El cambio climático que afecta a todo el campo agrícola, las innumerables plagas que atacan a la planta de maíz, la escasez y encarecimiento de los recursos naturales no renovables, como el agua, obliga a los productores a cuidar y manejar idóneamente su cultivo para lograr una actividad económicamente activa y un mayor bienestar social.

AGRADECIMIENTOS

Se desea manifestar el apoyo económico de la Fundación Hidalgo Produce para la realización de este trabajo, y a los productores de maíz de los municipios de Tlaxcoapan y Tlahuelilpan por el material biológico donado.

BIBLIOGRAFÍA

- AACC (Association of chemical analyst cereals), 2001, *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, MN.
- Acosta, Y. *et al.*, 2001, "Mycotoxins in Silages: Occurrence and Prevention", en *Iranian Journal of Applied Animal Sciences* 1 (1): 1-10.
- Askun, T., 2006, "Investigation of fungal species diversity of maize kernels", en *Journal of Biological Sciences* 6 (2):275-281.
- Betanzos, E., 2009, "Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México", en *Agric.Téc.Méx.* 35 (4): 391-400.
- Bucio, C. *et al.*, 2003, Contaminación con hongos en maíz recién cosechado en el estado de Guanajuato durante el año 2003, VII Congreso de Ciencias de los Alimentos.
- Braide, W. *et al.*, 2011, "Microbiological quality of an edible caterpillar of an emperor moth, *Bunaea alcinoe*", en *Journal of Ecology and the Natural Environment* 3 (5): 176-180.
- Duarte y Villamil, 2006, "Micotoxinas en la Salud Pública", en *Rev Salud Pública* 8 (1) mayo, Bogota.
- Gallardo, E. *et al.*, 2006, "Micobiota de maíz (*Zea mays* L) recién cosechado y producción de fumonisina B1 por cepas de *Fusarium verticillioides* (Sacc) Nirenb", en *Rev Mex de Fitopatología* 24 (1):27-34.
- Gámez, A., 1996, "Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP", en Publicación Especial, núm. 16, SAGAR, INIFAP, Toluca.

- Gaytan, R. *et al.*, 2009, "Rendimiento de grano y forraje en híbridos de maíz y su generación avanzada", en *Agric. Téc. Méx.* 35 (3).
- Gorim, L. y F. Asch, 2012, "Effects composition and share of seed coatings on the mobilization efficiency of cereal seeds during germination", en *Journal of Agronomy and Crop Science* 198 (2): 81-91.
- ISTA (International Seed Testing Association), 1995, *Rules. Seed of vigor test methods*, 2a. ed, Zurich.
- Jiménez, J. *et al.*, 2012, "Características del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano", en www.universidadyciencia.ujat.mx.
- Kebede, H. *et al.*, 2012. "Determination of moisture deficit and Heat Stress Tolerance in Corn Using Physiological Measurements and a Low-Cost Microcontroller-Based Monitoring System", en *Journal of Agronomy and crop Science* 198 (2): 118-125.
- Molina, D. *et al.*, 2004, "Micoflora y presencia de fumonisinas en maíz de reciente cosecha en Sonora", en revista *Salud pública y nutrición*, edición especial, núm. 1-2004, Universidad de Sonora.
- Meerdink, L., 2002. "Mycotoxins", en *Clinical Techniques in Equine Practice* 1 (2) : 89-93.
- Montgomery, C., 1991, *Diseño y análisis de Experimentos*, Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- NMX-FF034/1-SCFI-2002, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-Especificaciones y métodos de prueba, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Dirección General de Normas, México.
- NMX-FF-034/2-SCFI-2003, Productos alimenticios no industrializados para uso Humano- cereales. Especificaciones y métodos de prueba, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Dirección General de Normas, México.

- Naacha, L. *et al.*, 2005, "Ocratoxinas y su impacto en la salud", en *Ciencia UANL VIII* (3): 373-378.
- Pavón, A. *et al.*, 2012, "PCR-based assay for the detection of alternaria species and correlation with HPLC determination of alternen, alternariol and alternariol monomethyl ether production in tomato products", en *Food Control* 25 (1): 45-52.
- Pereira, D. *et al.*, 2009, "Filamentous fungi associated with mosquito larvae (Diptera: Culicidae) in municipalities of the Brazilian Amazon", en *Neotropical Entomology* 38 (3): 352-359.
- Pérez, J. *et al.*, 2006, "Impacto del maíz de alta calidad de proteína (ACP) en la nutrición humana y animal e Hidalgo", en *Memorias 20 Aniversario de Investigación y desarrollo*, Hidalgo, México.
- Raper, B. e I. Fenell, 1965, *The genus Aspergillus*, Williams and Wilkins, Maryland, EUA.
- Robledo, L. *et al.*, 2001, "Contaminación natural con micotoxinas en maíz forrajero y granos de café verde en el estado de Nayarit (México)", en *Rev Iberoam Micol.* 18: 141-144.
- Rooney, W. y L. Suhendro, 2001, "Food quality of corn", en Lusas, E. y W. Rooney (eds.), *Snack foods processing*, Technomic Publishing, Lancaster, EUA.
- Sampson, A. y J. Pitt, 2000, *Integration of modern taxonomic methods for Penicillium and Aspergillus classification*, Harwood academic publishers, Amsterdam.
- Shephard, G., 2012, "Developments in mycotoxin analysis: an update for 2010-2011", en *World Mycotoxin Journal* 5 (1): 3-30.
- Secofi (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial), 2003, NMX-FF-043-SCFI-2003, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Especificaciones y métodos de prueba.
- Soriano, M. y S. Dragacci, 2004, "Intake, decontamination and legislation of fumonisins in foods", en *Food Research International* 37: 367-374.
- Terenti, O., 2004, Calidad de la semilla, lo que implica y cómo evaluarla, ITA-San Luis, en [http:// www. producción-animal.com.ar](http://www.producción-animal.com.ar).

Yaklich, W. *et al.*, 1979, "Evaluation of vigor studies in soybean seeds. Relationship of the standard germination test, seedling vigour classification, seedling length and staining to field emergence", en *Crop Science* 19:247-252.