

Evaluación bromatológica y co-contaminación con aflatoxinas y fumonisinas en la semilla de maíz protegida con plaguicidas

Silvia D. Peña Betancourt ¹, Alberto Trujillo Campos y Beatriz S. Schettino Bermudez

Resumen. El maíz es un alimento de importancia mundial, debido a esto, es primordial detectar la calidad sanitaria del mismo, no sólo en el grano durante la cosecha o el almacenamiento, sino también en la semilla. Por ello, el objetivo del presente estudio fue determinar la composición química bromatológica y co-contaminación de micotoxinas en 17 genotipos de semilla de maíz, protegida con plaguicidas y un colorante (7 variedad amarillo y 10 variedad blanco), obtenidos del campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Jiutepec Mor., durante la primavera de 2014. Se analizó el contenido de materia seca (MS), proteína bruta (PB), cenizas (CEN), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), lípidos totales (LIPT), fumonisinas totales (FUMT) y aflatoxina B₁ (AFB₁), mediante técnicas aprobadas por el AOAC (1990). Para el análisis estadístico, las muestras se agruparon por variedad (amarillo y blanco). Se realizó una prueba de T para muestras independientes por medio del paquete estadístico SAS (1999). Los resultados para el contenido nutricional y de MS (PB, FB, EE y CEN), fue muy similar ($p > 0.05$) en los genotipos evaluados. Para LIPT y FUMT se encontró diferencia estadísticamente significativa por genotipo ($p < 0.01$). De los 17 genotipos de maíz contaminados

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

con fumonisinas totales, 38%, presentó niveles promedio de 1.096 mg kg y 61% en 0.23 mg kg; 25% con aflatoxinas en 0.0042 mg kg. Se concluye que la semilla de maíz protegida con plaguicidas presenta una co-contaminación por fumonisinas y aflatoxina B₁, por lo que se sugiere se determine el riesgo que representan para la salud humana y animal debido a su probada toxicidad.

Palabras clave: micotoxinas, semilla, *aspergillus flavus*, *fusarium verticillioides*.

Abstract. Corn is a food of global importance, because of this, it is important to monitor its health quality, not only during harvest or storage of the grain, but also sowing seed. The aim of this study was to determine the chemical bromatological composition and the mycotoxins co-contamination in 17 genotypes of maize seed protected with pesticides and synthetic dyes (7 yellow variety and 10 white variety) obtained from the experimental field of the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Investigations (INIFAP) in Jiutepec Mor., during spring of 2014. It was analyzed the content of dry matter (DM), crude protein (CP), ashes (CEN), ether extract (EE), crude fiber was analyzed (FC), total lipids (LIPT), total fumonisin (FUMT) and aflatoxin B₁ (AFB₁), using techniques approved by the AOAC (1990). For statistical analysis, the samples were grouped by variety (yellow and white). It was performed a T test for independent samples, using the statistical package SAS (1999). The results for the nutritional content and MS (PB, FB, EE and CEN) were very similar ($p > 0.05$) in the evaluated genotypes. For LIPT and FUMT it was found a statistically genotype significant difference ($p < 0.01$): of the 17 genotypes of corn contaminated with total fumonisins, 38%, showed average levels of 1.096 mg kg and 61% at 0.23 mg kg, 25% with 4.2 g kg aflatoxin. It is concluded that maize seed protected with pesticides presents a fumonisin and aflatoxin B₁ co-contamination, hence it is suggested to determine the risk that represents for human and animal health, due to its proven toxicity.

Key words: mycotoxins, seed, *aspergillus flavus*, *fusarium verticillioides*.

INTRODUCCIÓN

El comercio nacional e internacional demanda alimentos sanos e inocuos, por lo que se necesita información de la calidad nutricional y sanitaria de los ingredientes y alimentos que conforman la cadena productiva agropecuaria, esto debido a que se ha mostrado que 15% de los alimentos comercializados contienen alguna toxina, plaguicida o ingrediente transgénico que pueden ocasionar daño a la salud pública (Schmidt *et al.*, 2016). El maíz en México es un alimento básico para la alimentación humana y animal; de la semilla se produce grano y más de 300 productos derivados, como mieles fructosadas, harinas nixtamalizadas, tortillas, totopos, almidones y aceites para consumo humano, y alimentos balanceados para el consumo animal. La semilla es el material biológico de partida para que lograr un producto final de calidad que beneficiará tanto a los agricultores, como a la industria alimenticia (Shephard *et al.*, 2013).

La diversidad genética del maíz, como son las semillas nativas o mejoradas, se puede relacionar con el contenido de nutrientes, lo cual ha sido observado por Salinas *et al.* (2013) –en el caso de la semilla nativa azul– y por Vázquez *et al.* (2010), entre otros autores; actualmente los maíces híbridos tienen mayor contenido de proteína y de aminoácidos como lisina y metionina, además de presentar mejor adaptación a las distintas zonas agrícolas del país, principalmente en trópicos y subtrópicos. Sin embargo, la resistencia a los hongos patógenos como el *Fusarium* sólo ha sido identificada en algunos híbridos de maíz como el H-561 y el H553-C. (Schmidt *et al.*, 2016; Vázquez *et al.*, 2010; Salinas *et al.*, 2013).

Fusarium verticillioides y *Fusarium poae* son hongos microscópicos localizados con frecuencia en la microbiota del suelo agrícola, con capacidad para establecer asociaciones saprófitas con la planta del maíz, incluso por largos periodos de tiempo sin que se observen daños al cultivo, pero ocasionando –si las condiciones ecológicas lo favorecen– una infección sistémica, tal como la fusariosis, enfermedad devastadora para

el cultivo, además el hongo puede sintetizar fusariotoxinas, sustancias químicas que afectan la salud humana y animal (Bacon *et al.*, 2001).

Aspergillus flavus, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus nomius* son hongos microscópicos saprófitos que se desarrollan con una humedad relativa entre 70 y 90%, y en un amplio rango de temperaturas, que van de 0 °C a 45 °C, por tanto son capaces de infectar la planta del maíz desde el campo, continuando durante la cosecha y el almacenamiento del grano. Estos hongos patógenos se han detectado en los suelos agrícolas de los estados del centro de México (Hidalgo, Guanajuato, Estado de México) y son capaces de sintetizar aflatoxinas (Grenier y Oswald, 2011), sustancias químicas, producto del metabolismo secundario del hongo, que se producen a partir de intermediarios simples del metabolismo primario, como el acetato, malonato y de ciertos aminoácidos, bajo condiciones de estrés hídrico y altas temperaturas.

Se han identificado 20 aflatoxinas, siendo cuatro las más conocidas: aflatoxina B₁, aflatoxina B₂, aflatoxina G₁ y Aflatoxina G₂ (Rojas y Wilches, 2009). Los metabolitos AFP₁ y AFQ₁ son las formas hidroxiladas de la aflatoxina B₁, que se conjugan con sulfatos para formar ésteres, los cuales son excretados por medio de la orina y pueden servir como bio-marcadores de la exposición de las aflatoxinas en humanos (Guzmán de Peña, 2007). Estos metabolitos se han aislado de órganos como el hígado y riñón en animales expuestos a las aflatoxinas y que han sido relacionados con cáncer en humanos (Carvajal, 2013). La diversa estructura química de las aflatoxinas y su gran estabilidad térmica les confiere propiedades físico-químicas de alta peligrosidad para la salud humana y animal (Arrúa *et al.*, 2013). Por ello la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, 2002) las considera sustancias carcinogénicas que han sido relacionadas, epidemiológicamente, con cáncer hepático en poblaciones asiáticas y africanas, siendo la aflatoxina B₁ la frecuentemente involucrada (EFSA, 2016). La aflatoxina M₁ es genotóxica, mutagénica, teratogénica y carcinogénica, se le encuentra en la leche de bovinos y derivados como el queso (IARC, 2002).

Las fumonisinas totales ($FB_1 + FB_2 + FB_3 + FB_4$) fueron por primera vez identificadas en 1988, producidas por *Fusarium verticillioides* (*moniliforme*), capaces de sintetizar, al mismo tiempo, la zearalenona (ZEA), deoxinivalenol (DON), diascirpenol (DAS), entre otras (Schollenberger *et al.*, 2006; Peña *et al.*, 2015). La FB_1 , es la de mayor toxicidad, ya que se ha demostrado su efecto disruptor endócrino a una dosis de 30 ng mL. La exposición de las fisariotoxinas en animales de granja se asocia con desórdenes reproductivos, leucoencefalomacia en equinos y edema pulmonar en cerdos, y en el humano en cáncer hepático y esofágico (Albonico y Schutz, 2016; Chuma *et al.*, 2008).

La semilla de maíz para siembra es seleccionada por los agricultores por sus cualidades físicas, como tamaño, color, peso y poder germinativo, sin conocer el estado sanitario, además generalmente la semilla se almacena, y para evitar su deterioro físico se le aplican un tratamiento químico con plaguicidas, entre los que destacan: el thiodicarb, un insecticida del grupo de los carbamatos, indicado para controlar los insectos: *Anticarsia gemmatalis*, *Heliothis sp.*, *Rachiplusia nu* de los cultivos agrícolas; el captán, cuya fórmula química es N-triclorometiltiociclohex-4-en 1,2 dicarboximida, es un carbamato recomendado para combatir al hongo *Fusarium sp.*; el metalaxil-M, desarrollado por la empresa Syngenta, y que contiene dos principios activos que pertenecen al grupo químico de los fenilpirroles y fenilaminas, utilizados para proteger a la semilla del ataque de hongos; el tiabendazole utilizado para controlar hongos y un colorante o pigmento PSF 1006 (rosa), cuyo ingrediente activo es un copolímero acrílico modificado, con el fin de evitar su consumo (Bayer®, 2006).

El impacto de las micotoxinas en la salud humana se ha documentado a través del tiempo, en los años setentas se declaró una alarma debido a la muerte de más de 650 personas por el consumo de granos tratados con fungicidas, importados de Estados Unidos y México. En los ochentas se reportaron decesos de españoles por consumo de aceite importado de Francia como aceite industrial, y vendido por comercian-

tes ambulantes como aceite comestible. En mayo de 2004, 125 personas murieron y 317 presentaron disfunción renal a causa del consumo de maíz contaminado con aflatoxinas. Un incidente similar sucedió en 2010, ocasionando la salida y pérdida de 2.3 millones de grano contaminado. Recientemente en Guatemala, el consumo de maíz contaminado con fumonisinas se ha asociado con la hepatitis, carcinoma hepático en adultos y defectos en el tubo neural en niños (Torres *et al.*, 2015).

La legislación internacional establece para el maíz que será sometido a un proceso físico, previo al consumo humano directo o como ingrediente de productos alimenticios, un límite máximo de aflatoxinas totales ($AFB_1 + AFB_2 + AFG_1 + AFG_2$) de $5 \mu\text{g kg}$; el límite máximo para fumonisinas de 1 mg kg (Reglamento CE, 2006). En México, la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 establece un límite máximo de $20 \mu\text{g kg}$ para las aflatoxinas totales.

De acuerdo con los antecedentes mencionados, la presencia de hongos micotoxigénicos y la contaminación por aflatoxinas y fumonisinas en el grano de maíz ha sido demostrada, por eso en este estudio se investigó la presencia simultánea de aflatoxinas y fumonisinas en la semilla de maíz tratada con plaguicidas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Colecta de muestras

17 muestras de aproximadamente 1 kg fueron colectadas en la estación experimental del INIFAP, en el estado de Morelos, durante 2014. Genéticamente, son híbridos de 2 a 3 líneas, adaptadas al trópico y subtrópico de México. Solo una muestra es un híbrido sintético. Todas las semillas se trataron químicamente con plaguicidas contra plagas del suelo y follaje: Furadán 300 TS (insecticida), Brigadier 30TS (insecticida agrícola), Semevin 350 CA (insecticida, cuyo principio activo es el Thiodicarb), Baytroid 05 (insectici-

da agrícola piretroide), Lorsban 480 EM (insecticida organofosforado para el control del gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda*), Thiodan 35 CE, es un líquido concentrado emulsionable con endosulfán como ingrediente activo y un colorante rosa (PSF 1006); todos los agroquímicos fitosanitarios provienen de industrias que comercializan sus productos en el estado de Morelos (Cuadro 1).

El estándar de aflatoxina B₁ se adquirió de la compañía Sigma-Aldrich, EUA, y los solventes químicos como el metanol, acetonitrilo grado analítico y grado HPLC, de la compañía Merck. La solución stock de la aflatoxina B₁ se preparó a partir de una concentración de 1 mg of AFB₁, que fue colocada en un matraz volumétrico de 50 mL en una mezcla de benceno y acetonitrilo (98:2 v/v) como solución madre, de la cual se obtuvieron las soluciones de trabajo en concentraciones de 8 a 50 µg/mL.

La curva de calibración ($y=3128699.71x+218056.30$) mostró una linealidad significativa ($p<0.05$) en un intervalo de 0.10; 0.25; 0.5; y 1 µg/mL con un coeficiente de regresión de 0.99. Los límites de detección y cuantificación fueron 0.241 y 0.43 µg/Kg, respectivamente. El recobrado (exactitud) fue de 87%.

Cuadro 1. Características de las muestras colectadas

Variedad	Zona de adaptación	Marca creadora	Genética
305-49	-	-	-
AMAR CCC	Trópico y subtrópico	CINCINNATI	2-3 líneas
ARES	Trópico y subtrópico	UNISEM	2-3 líneas
EROS	Trópico y subtrópico	UNISEM	2-3 líneas
H-374-C	Subtrópico	HÍBRIDO	Híbrido trilineal
H-377	Trópico y subtrópico	INIFAP	Híbrido trilineal
H-382	Trópico y subtrópico	INIFAP	Híbrido trilineal
H-443-A	Trópico	INIFAP	Híbridos trilineales
H-515	Trópico	INIFAP	Híbridos trilineales

H-516	Trópico	INIFAP	Híbridos trilineales
NB-1	Trópico y subtropical	NOVASEM	2-3 líneas
Orion	Trópico	UNISEM	2-3 líneas
P-2844	Trópico y subtropical	PIONNER	2-3 líneas
P-3055	Trópico y subtropical	PIONNER	2-3 líneas
P-4082W	Trópico	PIONEER	2-3 líneas
TUNDRA	Trópico y subtropical	INIFAP	Bilineal
ZAPATA-3	Trópico	ACA	2-3 líneas

Análisis bromatológico

Se determinó el contenido de proteína, grasa, fibra y cenizas en 25 genotipos de semilla de maíz, tratada con plaguicidas por medio de la espectroscopia de luz cercano al infrarrojo (NIRS). En un modelo NIRS 6500 de la marca FOSS y a un rango de espectro de luz entre 1200 a 2350 nm, bajo un método de regresión lineal múltiple (Egesel y Kahrman, 2012).

Detección de fumonisinas totales

Se realizó un análisis de fumonisinas totales en 17 genotipos de maíz, utilizando la prueba inmunológica comercialmente disponible por los laboratorios Envirology, como una prueba rápida que utiliza la tecnología competitiva de flujo lateral y un lector Quicktox Scan System para la cuantificación de fumonisinas, la cual presenta como ventaja el uso reducido de solventes con un límite de detección (LOD) de 0.2 a 20 mg kg, la técnica ha sido validada por AOAC (Polakowski *et al.*, 2015). Se pesaron 5 g de la muestra, seguida de una extracción con 50 mL de la solución amortiguadora o PBS; la suspensión se mezcla en un vórtex por dos mi-

nutos y el sobrenadante se coloca en la tira inmunológica. La determinación cuantitativa se realizó con el sistema QuickScan, que determina la concentración de las fumonisinas en mg kg (ppm).

Extracción y análisis de aflatoxina B₁

Se realizó un monitoreo al azar de AFB₁ en ocho muestras de maíz seleccionadas por su mayor comercialización en el estado de Morelos. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de toxicología de la UAM-X, usando la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (CLAR), con detector de fluorescencia (DF) de acuerdo con la NOM-188-SSA1-2002. Se utilizó un equipo cromatográfico de la marca Varian modelo Polaris, bomba isocrática. Columna de C18 de un tamaño de 150 mm x 4.6 mm y de 5 micras de diámetro. Se pesaron 50 g de harina pulverizada y se mezcló con 100 mL de la solución metanol al 80%, dejando en agitación mecánica durante 30 min. El extracto fue filtrado a través de un papel filtro Waltham (No. 41), 10 mL se extrajeron y se pasó a través de una columna de silica C18 (purificación en fase sólida), de la cual se tomaron 25 µL que se inyectaron por triplicado al cromatógrafo. La fase móvil compuesta por una mezcla de agua, metanol y acetonitrilo (60:20:20 v/v/v). El detector de fluorescencia con una longitud de excitación (l 360 nm) y de emisión (l 440 nm), con un flujo de la fase móvil de 1 mL por minuto.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos del análisis bromatológico, así como de fumonisinas y lípidos totales, en las muestras de maíz, se determinaron mediante un análisis estadístico descriptivo: media, desviación estándar, valores máximos y mínimos, además del coeficiente de variación, en una prueba T para muestras independientes con el programa estadístico SAS, 1999.

RESULTADOS

Los resultados del análisis químico proximal en 17 muestras de maíz se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis bromatológico de las 17 muestras de maíz

Identificación Maíz	Variedad	Materia Seca	Proteína	Fibra Cruda	Grasa	Cenizas
305-49	Amarillo	88.21	10.03	1.80	5.46	1.45
AmCC	Amarillo	88.46	12.02	1.71	5.10	1.51
H-382	Amarillo	88.55	9.77	1.65	5.40	1.43
H-443-A	Amarillo	88.26	10.05	1.89	5.32	1.43
Orión	Amarillo	88.43	10.97	1.61	5.49	1.44
P-2844	Amarillo	88.93	10.80	2.23	6.07	1.70
Tundra	Amarillo	88.81	12.07	1.78	5.56	1.62
Ares	Blanco	88.61	11.12	1.93	6.14	1.60
Eros	Blanco	88.44	12.30	2.43	5.14	1.76
H-374-c	Blanco	88.50	9.99	1.83	5.12	1.39
H-377	Blanco	88.64	11.07	1.51	5.71	1.48
H-515	Blanco	88.44	11.12	1.65	5.67	1.52
H-516	Blanco	88.69	10.98	2.29	5.11	1.63
NB-1	Blanco	88.38	10.09	1.62	5.92	1.45
P-3055	Blanco	88.21	8.91	1.71	5.11	1.25
P-4082	Blanco	88.50	9.93	1.61	5.42	1.37
Zapata	Blanco	88.90	9.91	2.17	4.91	1.38
Promedio		88.53	10.65	1.85	5.45	1.49
d. e.		0.22	0.93	0.27	0.36	0.13
Mín		88.21	8.91	1.51	4.91	1.25
Máx		88.93	12.30	2.43	6.14	1.76
c.v.		0.25	8.73	14.79	6.62	8.75

d. e.= desviación estándar, Mín= Valor mínimo, Máx= Valor máximo, c.v.= coeficiente de variación.

Los resultados del análisis químico proximal mostraron pequeñas diferencias de acuerdo al genotipo; el mayor coeficiente de variación se observó en fibra cruda con 14.79%, seguidos de cenizas (8.75%) y proteína cruda (8.73). Posteriormente, se analizaron las muestras con una prueba de T para muestras independientes, por medio del paquete estadístico SAS (1999), agrupando los valores por variedad de maíz, es decir, blanco y amarillo, los resultados se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados del análisis bromatológico (MS, PB, Grasa, Fibra cruda, cenizas) en maíz de las variedades amarillo y blanco, colectadas en el estado de Morelos, México

	MS	PB	Grasa	Fibra cruda	Cenizas
Amarillo n=7	88.52	10.82	5.49	1.81	1.51
Blanco n=10	88.53	10.54	5.43	1.88	1.48
p	0.3415	1.0000	0.4377	0.3079	0.4378

MS= Materia seca, PB= Proteína bruta

Los datos analizados no presentaron diferencias estadísticamente significativas para el análisis bromatológico, sin embargo, para las variables de fumonisinas totales y lípidos totales, evaluadas con la misma prueba, sí se observó una diferencia estadística ($p < 0.05$), como se puede observar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Contenido de lípidos y fumonisinas totales en maíz de las variedades amarillo y blanco, colectadas en el estado de Morelos, México

Variedad de maíz	Lípidos totales		Fumonisinás totales	
	\bar{x}	d. e	\bar{x}	d. e
Amarillo (n=7)	5.25	0.09	0.41	0.21
Blanco (n=10)	5.63	0.22	0.26	0.05
P	0.01		<0.01	

\bar{x} = Promedio, d.e. = Desviación estándar de la media, P=probabilidad, 0.05.

Del total de las muestras analizadas, 25% presentaron AFB₁, y 100% fumonisinas; 31% presentó niveles promedio de 0.56 mg kg con un rango de 0.23 mg kg a 1.20 mg kg; 22% un contenido de 0.43 mg kg y un rango de 0.56 mg kg a 1.mg kg, cabe destacar que el mayor contenido se encontró en el maíz sintético (1.29 mg kg), con aflatoxinas de 6.33 μ g kg (Cuadro 3). Los niveles de aflatoxinas totales se encuentran dentro del nivel máximo permitido por la legislación nacional para aflatoxinas que es de 20 μ g kg (NOM 188-SSA1, 2002; NOM 247-SSA1.2008), y en el límite para fumonisinas que es de 1 mg kg, en la legislación internacional (Reglamento CE, 2006).

DISCUSIÓN

La composición química de los nutrientes en los diferentes genotipos de maíz evaluados no mostró grandes variaciones, de acuerdo con la prueba T, a un nivel de significancia de $p>0.05$; de la misma manera, previamente demostrado por Salinas *et al.* (2013), en el maíz azul; se sugiere

umentar el número de muestras, sin embargo, cabe mencionar que el método del NIRS utilizado en el análisis de los nutrientes requiere de una constante validación con métodos matemáticos, como fue descrito por Egesel y Kahiman (2012), para incrementar la certeza de la prueba (r^2) debido a que se observa una mayor variación en los valores obtenidos para carbohidratos y lípidos, no así con la proteína, que arroja valores confiables (r^2 0.99).

La co-contaminación o presencia simultánea de las fumonisinas y aflatoxinas, observada en este estudio, son similares a las observaciones realizadas por Abbott (2013), Probst *et al.* (2014) y Torres *et al.* (2015) con respecto a que un hongo es capaz de producir más de una micotoxina. Esta co-contaminación puede explicarse por la variación en las especies de un mismo hongo que prevalecen en el suelo agrícola, tal como reportó Peña *et al.* (2006), en relación con la microbiota presente en el maíz recién cosechado que puede ser abundante en géneros y especies de hongos, predominando el género *Fusarium* (75%) y la especie *Verticillium*, seguida de *Alternaria* (14%), *Penicillium sp.* (4%) y *Aspergillus sp.* (5%).

En México, la concentración de fumonisinas en el grano de maíz, reportada previamente, ha sido de 64 $\mu\text{g kg}$ (Peña *et al.*, 2006), que, comparada con los niveles detectados en este estudio, son mayores actualmente (1 mg kg), lo que sugiere que la producción de micotoxinas está asociada al proceso de esporulación del hongo, y éste se encuentra estrechamente relacionado con las condiciones ambientales y la concentración de nutrientes en el medio, por tanto, la contaminación es un proceso aditivo, que se inicia en el campo y continúa durante la cosecha y el almacenamiento (Guzmán de Peña *et al.*, 1998). Asimismo, las esporas del *Fusarium verticillioides* se encuentran latentes en el endospermo de la semilla que, bajo condiciones de estrés ambiental, reanudan sus funciones vitales pese a los tratamientos químicos utilizados en la semilla durante su almacenamiento, inclusive pudiendo desarrollar una posible resistencia a fungicidas del grupo de los triazoles (Vanheule *et al.*, 2013), por ello, se sugiere determinar la concentración de las fumonisinas en

la semilla y evitar un abuso en los plaguicidas utilizados para el control químico, principalmente con insecticidas del grupo de los carbamatos y fungicidas sistémicos (Martínez *et al.*, 2013; Cavaglieri *et al.*, 2005).

La semilla de maíz contaminada puede ser el origen de una transmisión vertical de hongos, los cuales pueden permanecer de manera latente, sin mostrar daño en la planta hasta que el estrés hídrico u oxidativo en la planta favorezca la síntesis de micotoxinas, por esto, el sistema suelo-agua-planta constituye la triada más importante a considerar en el control holístico de esta problemática (Mortensen *et al.*, 2003). Además la infección del hongo y sus micotoxinas son un riesgo a la salud pública, ya que, como lo indica Torres *et al.* (2015), la exposición a más de una micotoxina por el consumidor puede ocasionar un efecto tóxico de adición y favorecer un incremento en la desarrollo de enfermedades crónico degenerativas como el cáncer.

Este hallazgo sugiere la necesidad de monitorear no sólo una micotoxina, sino varias, pues como lo indica la OMS, se debe: “minimizar los riesgos para la salud en toda la cadena alimentaria desde el productor hasta el consumidor, fomentando el uso de ingredientes inocuos”

CONCLUSIÓN

La producción de alimentos de calidad es un prerrequisito para asegurar su inocuidad y comercialización, es por ello que el análisis sanitario de la semilla de maíz es una herramienta de apoyo para los fito-mejoradores que desarrollan nuevas variedades de maíz, mejor adaptadas al clima y resistentes a plagas en el campo y durante el almacén, a fin de que ayuden a mejorar la producción de maíz, evitando la inseguridad de este importante cereal a nivel nacional.

En este estudio se mostró que la semilla de maíz tratada químicamente contiene la calidad nutricional adecuada para el consumo humano y animal, sin embargo, se encuentran contaminadas con aflatoxinas y

fumonisinias. De esta forma, se recomienda utilizar como control de plagas el método biológico. La detección cuantitativa de la contaminación por las micotoxinas fue posible con el uso de la Cromatografía líquida de alta resolución acoplada a un detector de fluorescencia, sin embargo, los ensayos inmunológicos presentan como ventaja la rapidez en su análisis y su bajo costo. Es importante destacar que las aflatoxinas y fumonisinias representan un riesgo para la salud humana y animal debido a su efecto genotóxico, asociado con el desarrollo de cáncer hepático.

AGRADECIMIENTOS

Al ayudante de investigación PMC Javier Chai, del área de investigación de Conservación y Comercialización de Productos Agropecuarios, del Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la UAM-X, por su apoyo en la preparación de las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, R., 2013, "Harvest hit by mycotoxin contamination", en *All about feed magazine* 21(10): 9-10.
- Albonico, M. y L. Schutz, 2016, "Toxicological effects of Fumonisin B1 alone and in combination with other fusariotoxins on bovine granulose cells", en *Toxicon*, 118: 47-53.
- AOAC, 1990, *Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists*, 15th ed. Method 930.04, 955.04, 930.05, Association of Official Analytical Chemists, EUA.
- Arrúa, A. *et al.*, 2013, "Aflatoxins, a Real Risk", en *Reportes Científicos de la FACEN*, 4(1): 68-81.
- Bacon, W. *et al.*, 2001, "Biological control of *Fusarium moniliforme* in maize", en *Environ Health Perspect*, 109: 325-332.

- Bayer, 2006, *Catalogo de productos, Tecnología de tratamiento de semillas*, en [http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcs_mexico.nsf/files/Product_cont/\\$file/Catalogo_TS.pdf](http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcs_mexico.nsf/files/Product_cont/$file/Catalogo_TS.pdf), consultado el 21/06/2016.
- Carvajal, M., 2013, "La transformación de la afltoxina B1 de alimentos cancerígeno aducto AfB1-ADN", en *Rev. especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 16(2): 109-120.
- Cavaglieri, L. et al., 2005, "In vitro influence of bacterial mixtures on *Fusarium verticillioides* growth and fumonisin B₁ production. Effect of seeds treatment on maize root colonization", en *Letters in Applied Microbiology*, 41: 390-396.
- Chuma, M. et al., 2008, "8-hidroxy-2-deoxyguanosine is a risk factor for development of hepatocellular carcinoma in patients with chronic hepatitis C virus infection", en *Journal Gastroenterology Hepatology*, 23(9): 1431-1436.
- EFSA, *Modelling, predicting and mapping the emergence of aflatoxins in cereals in the EU due to climate change*, en <http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/doc/223.pdf>, consultado el 02/16.
- Egesel, Ö. y F. Kahrıman, 2012, "Determination of quality parameters in maize grain by NIR reflectance spectroscopy", en *Journal of Agricultural Sciences*, 18: 31-42.
- Grenier, B. e I. Oswald, 2011, "Mycotoxin-co-contamination of food and feed: metaanalysis of publications describing toxicological interactions", en *World Mycotoxins Journal*, 4(3): 285-313.
- Guzmán de Peña, D., 2007, "La exposición a la aflatoxina B1 en animales de laboratorio y su significado en la salud pública", en *Salud Pública México*, 49: 227-235.
- Guzmán de Peña D. et al., 1998, "Regulation of mycotoxins biosynthesis during sporulation of *Aspergilli*", en Miraglia, M. et al. (Ed), *Mycotoxin and Phycotoxins. Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety*, A la Ken Inc., EUA.

- IARC, Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, 2002, en *Monogr Eval Carcinog Risks Hum*, 82: 1-556.
- Martínez, H. *et al.*, 2013, "El género *Aspergillus* y sus micotoxinas en maíz en México. Problemática y perspectivas", en *Revista Mexicana de fitopatología*, 31(2): 126-146.
- Mortensen, K. *et al.*, 2003, "Determination of zearalenone and ochratoxin A in soil", en *Analytical and bioanalytical Chemistry*, 376(1): 98-101.
- NMX-FF-034/1-SCFI-2002, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales, parte I: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado, especificaciones y métodos de prueba.
- NOM 188-SSA1, 2002, Norma Oficial Mexicana. Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias.
- NOM 247-SSA1, 2008, Norma Oficial Mexicana. Productos y Servicios. Cereales y sus productos, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de Prueba.
- Peña, S. *et al.*, 2015, "Estimation of mycotoxins multiple contamination in Mexican hybrid seed maize by HPLC-MS/MS", en *Agricultural Sciences*, 6: 1089-1097.
- Peña, S., 2006, "Detection of fumonisins in maize (*Zea mays* L.) by three analytical techniques (HPLC, TLC and ELISA)", en Njapau, H. *et al.* (Eds.), *Mycotoxins and Phycotoxins Advances in determination, toxicology and exposure management*, Wageningen Academic Publishers, Holanda.
- Polakowski, S. *et al.*, 2015, "Quicktox TM kit for fumonisins", en *J. AOAC International*, 98(6): 1571-1584.
- Probst, C. *et al.*, 2014, "Diversity of aflatoxin-producing fungi and their impact in food safety in sub Saharan Africa. International", en *Journal of Food Microbiology*, 174: 113-122.

- Reglamento (CE), 2006, "Contenido máximo de contaminantes en los productos alimenticios", en Reglamento CE 1881/2006 de la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea 20.12.2006. L364/5-L364/24.
- Rojas, O y A. Wilches, 2009, "Determinación de aflatoxinas en alimentos de mayor consumo infantil comercializados en la ciudad de Pamplona, Norte de Santander", en *Rev de la Facultad de Ciencias básicas*, 7(1): 15-20.
- Salinas, Y. *et al.*, 2013, "Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca", en *Rev Fitotec.Mex*, 36(1): 23-31
- SAS Institute, 1999, The SAS system for Windows.
- Schmidt, M. *et al.*, 2016, "Impact of fungal contamination of wheat on grain quality", en *J. of Cereal Science*, 69: 95-103.
- Shephard, S. *et al.*, 2013, "Mycological analysis and multimycotoxins in maize from rural subsistence farmers in the former Transkei, South Africa", en *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 61: 8232-8240.
- Schollenberger, M. *et al.*, 2006, "Natural occurrence of 16 fusarium toxins in grains and feedstuffs of plant origin from Germany", en *Mycopathologia*, 161(1): 43-52.
- Torres, O. *et al.*, 2015, "Human health implications from co-exposure to aflatoxins and fumonisins in maize-based foods in Latin America: Guatemala as a case study", en *World Mycotoxin Journal*, 8(2): 143-159.
- Vanheule, A. *et al.*, 2013, *Fusarium poae; chemotype, plant-pathogen interaction and response to oxidative stress triggers*, Ghent, Bélgica.
- Vázquez, M. *et al.*, 2010, "Calidad de granos y tortillas de maíces criollos del altiplano y Valle del Mezquital, México", en *Revista Fitotecnica Mexicana*, 33(SPE. 4): 49-56.