

8. Aflatoxinas: contaminantes incidentes de alimentos en el mundo



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.299.08>

ANAYANSI ESCALANTE ABURTO*
ADRIANA VILLANUEVA CARVAJAL**
NÉSTOR PONCE GARCÍA***§

Resumen

Debido a la gran preocupación por la salud en relación con la ingestión de alimentos contaminados con micotoxinas alrededor del mundo, continuamente se realizan estudios para verificar la aparición y prevalencia de estas toxinas en la cadena alimentaria. Las micotoxinas son compuestos que se producen como resultado del metabolismo secundario de ciertos hongos o mohos, principalmente del género *Aspergillus* sección *Flavi*. Las micotoxinas más importantes en términos de afectación a la salud y de pérdidas económicas son las aflatoxinas (AFS). Dentro de éstas, la aflatoxina B₁ (AFB₁) es considerada la más tóxica, debido a los efectos cancerígenos que tiene en humanos. Los alimentos más susceptibles al crecimiento de hongos y, en consecuencia, a la producción de micotoxinas son las oleaginosas, cereales, frutas secas, granos de café, especias y leche. En algunos países aún no se han establecido límites máximos permisibles de estos compuestos en alimentos para ser consumidos de manera segura. Sin embargo, en la mayoría de las regiones que establecen normativas a este respecto, los alimentos normal-

§ Autor para correspondencia: nponceg@uaemex.mx

* Doctora en Ciencia de los Alimentos. Profesora-investigadora en el Instituto de Investigación en Obesidad del Tecnológico de Monterrey, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6781-5154>

** Doctora en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2429-4387>

*** Doctor en Ciencia de los Alimentos. Facultad de Ciencias Agrícolas por la Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9342-0095>

mente sobrepasan los límites permitidos y son ampliamente consumidos por la población. El objetivo de esta revisión es conocer aspectos actuales relacionados con la contaminación de algunos cultivos comúnmente contaminados con AFS en diversas regiones del mundo.

Palabras clave: *aflatoxinas, micotoxicosis, aspergillus.*

Introducción

Los alimentos pueden contaminarse de manera natural debido a la presencia de diversas toxinas producidas por organismos vivos. Las micotoxinas, toxinas bacterianas y ficotoxinas son ejemplos representativos de algunas de ellas. Las micotoxinas se producen *in situ* en algunos alimentos (principalmente granos oleaginosos y cereales) y si las condiciones de manejo a lo largo de la cadena alimentaria no son las adecuadas, pueden transferirse con facilidad a otros alimentos y contaminarlos (Bhatnagar et al., 2014). Las micotoxinas conforman un amplio grupo de toxinas resultado del metabolismo secundario de ciertos hongos o mohos. Son compuestos no esenciales para mantener la vida de la célula de manera primaria, entre otras razones, porque no cumplen función alguna para obtener energía o sintetizar componentes estructurales. Sin embargo, la segregación de estas toxinas se ha asociado a que su función principal es dar ventaja competitiva a los hongos que las producen sobre otras especies, o sobre ciertas bacterias. La mayoría de las micotoxinas son citotóxicas, por lo que su principal daño es a nivel de estructura celular, interfiriendo en procesos como la síntesis de proteínas, ácido ribonucleico (ARN) y ácido desoxirribonucleico (ADN) (Lillard-Roberts, 2019).

Actualmente se conocen alrededor de 300 tipos de micotoxinas, pero la atención se ha centrado principalmente en aquellas con mayor efecto tóxico en la salud de humanos y animales (Zain, 2011). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), entre las micotoxinas ligadas a problemas de salud derivados por su ingesta (directa o indirecta, aún a bajas concentraciones) destacan las aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, patulina, zearalenona y desoxinivalenol. Dependiendo del tipo de micoto-

xina, estas se generan antes o después de la cosecha de los cultivos, principalmente cuando las condiciones ambientales o del entorno son cálidas y húmedas. Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) calcula que alrededor del 25% de los cultivos que se cosechan en el mundo están contaminados con uno o más tipos de micotoxinas (FAO, 2019). Particularmente, por las aflatoxinas, que son los compuestos naturales conocidos más tóxicos para el humano y los animales (Méndez-Albores y Martínez-Moreno, 2009). Desafortunadamente y de acuerdo con datos de Alshannaq et al. (2018) se estima que aproximadamente la mitad de la población del mundo está expuesta a elevados (y no monitoreados) niveles de aflatoxinas.

En este contexto, la presente revisión aborda las principales condiciones que favorecen el desarrollo de hongos productores de aflatoxinas y la consecuente contaminación de alimentos como oleaginosas, cereales y especias por estas sustancias tóxicas en diversas regiones del mundo.

Principales hongos productores de micotoxinas

Los hongos que invaden y contaminan los cultivos directamente en campo se denominan “hongos de campo”, mientras que aquellos que proliferan en productos almacenados son llamados “hongos de almacén”. La división se basa en la ecología del hongo, es decir, las condiciones que favorecen su desarrollo y diseminación, de las cuales, la humedad ambiental y el contenido de humedad del producto parecen ser los factores más importantes, y al mismo tiempo, se encuentran intrínsecamente relacionados con la temperatura (Esmailshirazifard y Keshavarz, 2014). La contaminación posterior a la cosecha es más común si el proceso de secado del producto se retrasa, o si durante el almacenamiento el contenido de humedad del producto es lo suficientemente alto para propiciar el desarrollo de hongos, de igual forma, la presencia de insectos, roedores e impurezas pueden propiciar la aparición y desarrollo de hongos en productos almacenados (Wrather et al., 2010). La FAO ha determinado que el manejo postcosecha inadecuado de los productos, es la principal causa de deterioro y contaminación por hongos y micotoxinas a nivel mundial, preva-

leciendo sustancialmente este tipo de prácticas en los países con economías emergentes (FAO, 2019).

Dentro de los principales géneros de hongos de campo se encuentran *Alternaria*, *Cladosporium* y *Fusarium*. Este tipo de hongos requieren que para su óptimo desarrollo el contenido de humedad del producto esté en equilibrio con alrededor del 90% de humedad relativa. Por otro lado, los hongos de almacén crecen cuando el contenido de humedad se encuentra en equilibrio con humedad relativa entre 70 y 90%. Las principales especies de hongos de almacén comprenden los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, las cuales encuentran un momento favorable de propagación, cuando alimentos como los granos se almacenen inadecuadamente a contenidos de humedad altos y temperaturas bajas (Shapira y Paster, 2004).

Aspergillus flavus

El género *Aspergillus* comprende alrededor de 200 especies de hongos. Desde el descubrimiento de las aflatoxinas, *A. flavus* se convirtió en la especie más estudiada y de mayor interés, dada su importancia en la contaminación de los alimentos e impacto negativo en la salud y economía mundial (Pleadin et al., 2014). La especie *A. flavus* comúnmente se desarrolla como saprófito del suelo y sólo produce esporas asexuadas y conidios (Amaike y Keller, 2011). A su vez, se divide en dos cepas, basadas en el tamaño de sus esclerocios: cepas L (Grupo *i*) con esclerocios >400 µm de diámetro, y cepas s (grupo *ii*) con esclerocios de tamaño <400 µm de diámetro (Cotty, 1989).

A. flavus suele estar presente en residuos agrícolas o como parásito de plantas e insectos (Perrone et al., 2010) y frecuentemente infecta cereales (arroz, maíz, trigo) y oleaginosas (algodón, cacahuates, nueces, pistaches). Es un hongo que para su desarrollo y potencial producción de aflatoxinas requiere entre 12°C y 48°C, así como una humedad relativa de 85% (Kumar et al., 2017) (tabla 8.1). Se desarrolla óptimamente en granos cuyo contenido de humedad oscila entre 18 y 18.5%, pero difícilmente logra propagarse cuando este parámetro es menor a 13% (Wrather et al., 2010).

La contaminación de productos con aflatoxinas puede variar considerablemente de un año a otro, e inclusive en una misma localidad; debido a

la variación de las condiciones del medio ambiente y de las prácticas agrícolas de cultivo que favorecen o atenúan el desarrollo de hongos toxigénicos. En campo, la rotación de cultivos y las buenas prácticas agrícolas incrementan la posibilidad de que hongos y micotoxinas no proliferen excesivamente, sin embargo, las condiciones del medio ambiente y al parecer el cambio climático, son los dos factores que mayor influencia tienen en el grado de infestación. Además, la producción y potencial contaminación de alimentos con micotoxinas discrepa considerablemente entre países, debido principalmente a las marcadas diferencias económicas, tecnológicas, culturales y de consumo entre ellos (Esmailshirazifard y Keshavarz, 2014).

Tabla 8.1. *Parámetros límites para el desarrollo de Aspergillus flavus y la producción de aflatoxinas*

Parámetro	Desarrollo de <i>A. flavus</i>			Producción de aflatoxina		
	Mínimo	Óptimo	Máximo	Mínimo	Óptimo	Máximo
Temperatura (°C)	10 a 12	33	43	13	16 a 31	31 1 37
Actividad de agua	0.8	0.98	>0.99	0.82	0.95-0.99	>0.99
pH	2	5 a 8	>11	-	-	-

Fuente: Adaptado de ICMSF (1996) y Herrera et al. (2014).

Aflatoxinas

Las aflatoxinas (AFS) se producen principalmente por el metabolismo secundario de dos especies de hongos del género *Aspergillus* como lo son *A. flavus* y *A. parasiticus*, aunque la producción de estas toxinas principalmente proviene de la sección *Flavi* (Norlia et al., 2019). La palabra “aflatoxina” se formó a partir de la letra ‘A’ (primera letra de *Aspergillus*), el término “fla” (de *flavus*) y la palabra toxina (Sarma et al., 2017). Las AFS son las micotoxinas que han recibido mayor atención e interés, debido a sus efectos cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos en animales de laboratorio susceptibles, así como por las secuelas ocasionadas por la toxicidad aguda que provoca en humanos (Norlia et al., 2019). La acción o efecto derivado por su consumo o inhalación provoca una enfermedad definida como aflatoxicosis (Bedi y Khare, 2012).

Se conocen más de 20 especies de aflatoxinas, siendo las de mayor interés AFB₁, AFB₂, AFG₁ y AFG₂, por el efecto nocivo que causan en la salud de humanos y animales, además del impacto económico asociado a la contaminación de alimentos (Hussain y Anwar, 2008). Las letras 'B' y 'G' distinguen a las aflatoxinas por su color fluorescente bajo la luz ultravioleta (*B*: *blue* [azul], y *G*: *green* [verde]) (Esmailshirazifard y Keshavarz, 2014; Zumbado et al., 2014). El nivel de toxicidad entre estas cuatro aflatoxinas no es el mismo, ponderándose de la siguiente forma: B₁>G₁>B₂>G₂ (Dors et al., 2011). La AFB₁ es el compuesto natural con mayor potencial cancerígeno conocido, por lo que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer la ha clasificado dentro del grupo 1 (compuestos o mezclas con alto poder cancerígeno en humanos) (Méndez-Albores y Moreno-Martínez, 2009). *A. flavus* produce principalmente AFB₁ y AFB₂ (Kumar et al., 2017). Otro par de aflatoxinas de interés en los alimentos lo constituyen las AFM₁ y AFM₂; metabolitos hidroxilados derivados de AFB₁ y AFB₂, respectivamente. Las AFM₁ y AFM₂ comúnmente se encuentran en leche contaminada, cuyo origen puede atribuirse directamente a hatos lecheros que se alimentaron con productos infectados con AFB₁ o AFB₂ (Herrera et al., 2014).

Las temperaturas mínima, óptima y máxima para la producción de AFS son 13°C, 28°C y 40 a 43°C, respectivamente, mientras que valores en el contenido de humedad alrededor de 18% en granos de cereales y entre 9 y 10% en oleaginosas, se consideran igualmente óptimos (Bedi y Khare, 2012). En términos de actividad de agua (*A_w*), se ha documentado que la mayor producción de AFS ocurre cuando los valores son próximos a 0.99, siendo importante ponderar que este parámetro está íntimamente asociado con la temperatura del medio ambiente y el contenido de humedad del alimento (Sanchis y Magan, 2004). La tabla 8.1 muestra los parámetros límites más importantes para el desarrollo de *A. flavus* y la producción de aflatoxinas. Además de lo anterior, los granos dañados, la disponibilidad de dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂), la aplicación de pesticidas y fungicidas, la afluencia de insectos y la concentración de esporas afectan la cantidad de aflatoxinas (Bryden, 2012).

Por otro lado, es tal el problema de alimentos contaminados con aflatoxinas a nivel mundial, que aproximadamente 100 países (que representan

87% de la población mundial) han regulado y legislado límites máximos tolerables de estos compuestos tóxicos en alimentos para consumo humano y animal (Coradi et al., 2016). Estos países cuentan con límites bien definidos principalmente para AFB₁ y sólo algunos de ellos consideran concentraciones máximas para los otros tipos de aflatoxinas. Dependiendo del país y tipo de alimento, los niveles de tolerancia máximos para AFB₁ oscilan entre 1 y 20 µg/kg, siendo el valor más común 4 µg/kg, implementado en 29 países (Guzmán-de-Peña y Peña-Carbiales, 2005).

Desafortunadamente, las AFS son muy estables y pueden llegar a resistir algunos procesos térmicos durante la preparación de alimentos tales como el tostado, la extrusión, el horneado, el freído y la nixtamalización (García y Heredia, 2014).

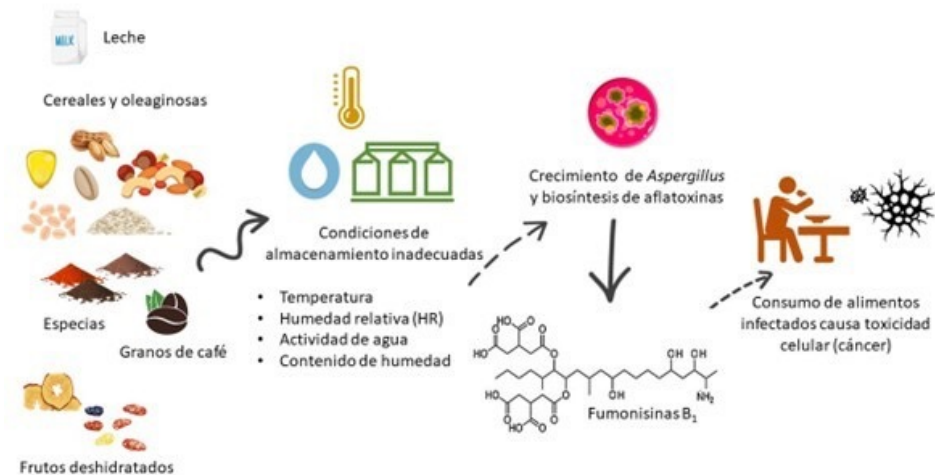
Sin embargo, se ha demostrado que la aplicación de ciertos procesos físicos, químicos o biológicos logran disminuir considerablemente la concentración de micotoxinas en alimentos contaminados, pero prácticamente ninguno de ellos por sí mismo o combinado las elimina por completo (Ponce-García et al., 2018). En este sentido, los procesos o métodos de descontaminación aplicados en un alimento que previamente presentó niveles o concentraciones de micotoxinas superiores a los estándares permitidos no necesariamente garantizan o implican que la concentración de las toxinas haya alcanzado límites permisibles, siendo en términos generales, probable que ello ocurra (Al-Zoreky y Saleh, 2019).

Incidencia de aflatoxinas en diferentes alimentos

De acuerdo con una evaluación de los procesos de la cadena de suministro de alimentos, se ha determinado que *A. flavus* y sus respectivas aflatoxinas podrían estar presentes en cualquier eslabón de la cadena, desde el campo hasta la mesa (Norlia et al., 2019). A este respecto, el tema de la contaminación de alimentos con micotoxinas y, específicamente con AFS en el mundo, se encuentra bien documentada. La presencia de AFS ocurre en una amplia variedad de alimentos de consumo humano y animal, destacando por sobre otras la contaminación en semillas oleaginosas (nueces, cacahuates, pistaches, almendras), cereales (maíz, arroz, trigo, sorgo), granos de café, frutas

secas, especias y leche. La figura 8.1 esquematiza el proceso de contaminación de alimentos por aflatoxinas durante el su almacenamiento y los efectos por su consumo.

Figura 8.1. Alimentos contaminados con aflatoxinas durante su almacenamiento inadecuado y sus efectos sobre la salud



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el Sistema de Alerta Rápida para Alimentos (RASFF, por sus siglas en inglés) de la Unión Europea, los pistachos, cacahuates y maíz son los alimentos que con mayor frecuencia se contaminan con AFS (Herrera et al., 2014). Filazi y Tansel (2013) coinciden en señalar que oleaginosas como los cacahuates, las almendras y los pistachos son los productos más susceptibles de contaminación por AFS, mientras que en cereales determinaron que el arroz es significativamente la gramínea más viable de contaminarse, seguida del maíz.

A pesar de que las oleaginosas son los productos más susceptibles de infestación por AFS, la presencia de estas toxinas en los cereales tiene mayor impacto a nivel mundial. Lo anterior se explica debido a que los cereales conforman la base de la alimentación humana y animal en todas las regiones del mundo. Desafortunadamente, la acumulación de AFS en ellos ocurre prácticamente de manera natural tanto en campo (planta) como

durante su almacenamiento (granos). Sin embargo, e independientemente del tipo de cultivo, Santini y Ritieni (2013) señalaron que muchos sustratos y condiciones ambientales favorecen el desarrollo de hongos aflatoxigénicos y la consecuente producción de AFS, por lo que la contaminación natural de cereales, oleaginosas, higos, tabaco y una larga lista de cultivos, puede considerarse como una situación común.

Oleaginosas y derivados

Algunos cultivos de vaina (como los cacahuates) suelen contaminarse cuando las vainas que cubren las semillas tienen contacto directo con el suelo que a su vez está contaminado con hongos aflatoxigénicos. Si esto ocurre, los hongos pueden invadir y producir toxinas en los granos antes de la cosecha, mientras se realiza el secado y durante el almacenamiento, si es que éste se realiza en condiciones inadecuadas; en este tipo de productos, el problema central radica en el hecho de que una vez que el hongo infecta los granos, los niveles de AFS se incrementan considerablemente (Fu et al., 2008). En otro estudio realizado en granos de cacahuete, Norlia et al. (2019) precisaron que una vez que los granos se contaminan con AFS no es posible eliminarlas, por lo que las prácticas de manejo preventivo para reducir o evitar la presencia de estos compuestos tóxicos a lo largo de la cadena resultan de suma importancia.

Bedi y Khare (2012) reportaron presencia frecuente de AFS en diferentes alimentos y países, y entre sus hallazgos más relevantes fue una elevada concentración de AFS en residuos de extractos oleaginosos procesados en Alemania; en productos a base de cacahuete en Australia; en granos de soya producidos en Bangkok; en pistaches cosechados en Irán, Pakistán y Turquía, así como en muestras de cacahuates importados en el Reino Unido y Rusia.

Cereales y derivados

Numerosos estudios han reportado detalladamente la presencia de aflatoxinas en diferentes tipos de cereales, destacando las investigaciones en maíz, cebada y avena (Pleadin et al., 2014); maíz, arroz, sorgo y trigo (Andrade y Caldas, 2015); arroz, maíz, trigo, sorgo y cebada (Filazi y Tansel, 2015); arroz, maíz y trigo (Mousavi et al., 2018). El maíz es el alimento de mayor preocupación mundial respecto a la incidencia de AFS, debido a que se cultiva en climas que probablemente tengan contaminación perenne de este tipo de micotoxinas (Santini y Ritieni, 2013). Pleadin et al. (2014) precisaron que los niveles más elevados de AFB₁ en cereales se presentan en maíz en comparación con el trigo, cebada y avena (en la cual se presentaron los niveles más bajos).

Las especies de *Aspergillus* que colonizan con mayor intensidad al maíz son *A. flavus* y *A. parasiticus*, sin embargo, en la mayoría de los países y regiones con problemas de contaminación por aflatoxinas (Estados Unidos, México, y Sudamérica) la presencia de *A. parasiticus* es poco común (Payne y Widstrom, 1992). Se ha demostrado que el tipo de hongo y su respectiva concentración de conidios, así como el contenido de humedad de los granos juegan un papel crítico en el inicio de la producción de AFS en este cereal (Oyebanji y Efiuvwevwere, 2014).

Castillo-Urueta et al. (2011) realizaron un estudio en la ciudad de México para evaluar la presencia de AFS en 400 muestras de tortillas de maíz adquiridas en diferentes tortillerías y supermercados. Los resultados mostraron que 13% de las muestras analizadas superó el límite de AFS permisibles (12 µg/kg) para ese producto. Torres et al. (2015) reportaron una alta frecuencia de AFS en productos alimenticios elaborados a base de maíz en Guatemala, donde 22% de las muestras evaluadas resultaron positivas. En un estudio similar establecido en Costa Rica, Granados-Chinchilla et al. (2017) comprobaron que la prevalencia de AFS fue positiva en 24 y 10.8% de las muestras destinadas para consumo humano y animal, respectivamente. En ambos tipos de alimentos, la presencia más elevada de AFS correspondió a productos elaborados a base de maíz. Bedi y Khare (2012) reportaron concentraciones elevadas de AFS en maíz en Kenya, Filipinas, Tailandia, Rusia, Pakistán, Irán, China, Malasia, India, Nigeria y Estados Unidos; en granos

de sorgo provenientes de Uganda, Pakistán, India y Centroamérica, además de alta prevalencia en granos de trigo y mijo en Nigeria.

La FAO estimó que 15% de arroz que se cosecha cada año, se contamina con hongos y otros agentes perjudiciales, debido a las condiciones inapropiadas de almacenamiento (Dors et al., 2011). Elzupir et al. (2017) analizaron la prevalencia de AFS en arroz alrededor del mundo durante el periodo comprendido entre 2004 y 2014.

Ali (2019) estudió la ocurrencia de AFS en arroz a nivel mundial y el efecto adverso de su consumo en la salud y concluyó que existe una amplia variación en los niveles de contaminación, principalmente entre países emergentes y desarrollados. En contraste, Al-Zoreky y Saleh (2019) evaluaron el contenido de AFS en arroz proveniente de países como India, Pakistán, Estados Unidos, Egipto y Australia y concluyeron que los niveles totales de AFS y específicamente de AFB₁ se encontraba dentro de los límites permisibles de acuerdo con los lineamientos de la Unión Europea. La influencia que tienen la temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento sobre el comportamiento de *A. flavus* en arroz, quedó demostrada cuando las concentraciones de esta especie de hongo permanecieron constantes y la producción de AFS no se presentó bajo condiciones de almacenamiento a 21°C y 85% de humedad relativa, mientras que las poblaciones y concentraciones más levadas de *A. flavus* y AFB₁, se presentaron a 21°C y 97% de humedad relativa (Choi et al., 2015).

Espicias

Las especias forman parte esencial de la alimentación, debido a sus atributos como potenciadores de sabor y aroma, e incluso como ingrediente para prolongar la vida de anaquel de diversos alimentos preparados, desafortunadamente y al igual que las oleaginosas y los cereales, algunas especias son propensas a contaminarse con AFS, principalmente porque se producen en regiones tropicales donde las condiciones ambientales favorecen la propagación de hongos (Filazi y Tansel, 2015).

De acuerdo con Khazaeli et al. (2017) la Unión Europea ha establecido en especias una concentración máxima tolerable de aflatoxinas totales de

10 mg/kg, mientras que para AFB₁ el límite permisible es 5 mg/kg. Zahara et al. (2018) evaluaron la incidencia de aflatoxinas en chiles rojos y pimienta negra, determinando que 39 y 18% de las muestras respectivamente se encontraban contaminadas con AFB₁.

De manera similar, Khazaeli et al. (2017) determinaron que 100% de las muestras analizadas de pimienta roja resultaron positivas para AFS y que, del total de especias y hierbas estudiadas, 30.8% tuvieron presencia de AFB₁. De acuerdo con los resultados, la contaminación por aflatoxinas en las especias, incluso a niveles bajos, puede ser una amenaza grave, dado el uso frecuente de estas en la preparación de alimentos. Por lo cual, el monitoreo regular de estos cultivos (especialmente la pimienta roja), es muy recomendable.

Conclusiones

La elevada y creciente contaminación de cultivos y alimentos con aflatoxinas alrededor del mundo, ha despertado un gran interés en diferentes sectores de la comunidad científica, tanto por el impacto que causan en la salud de humanos y animales, así como por las pérdidas económicas generadas en todos los eslabones de la cadena alimentaria. Si bien las condiciones ambientales en campo pueden favorecer el desarrollo y diseminación de hongos que producen micotoxinas, el inadecuado manejo postcosecha de los productos que son más susceptibles, es el factor que más favorece este tipo de contaminación.

Diferentes tipos de micotoxinas pueden estar presentes en los alimentos, pero a la fecha, la aflatoxina B₁ es el compuesto natural más tóxico que se conoce y por desgracia sus concentraciones rebasan los límites permisibles en alimentos como el maíz, arroz, cacahuates, pistaches y pimienta.

El control de aflatoxinas se debe centrar en métodos de control preventivos que al menos involucren la realización de buenas prácticas agrícolas, manejo postcosecha (transporte y almacenamiento) oportuno y adecuado, además de un procesamiento de materias primas sustentado en buenas prácticas de manufactura e higiene.

Referencias

- Ali, N. (2019). Aflatoxins in rice: Worldwide occurrence and public health perspectives. *Toxicology Reports*, 6, 1188-1197.
- Alshannaq, A. F., Gibbons, J. G., Lee, M-K., Han, K-H., Hong, S-B., y Yu, J-H. (2018). Controlling aflatoxin contamination and propagation of *Aspergillus flavus* by a soy-fermenting *Aspergillus oryzae* strain. *Scientific Reports*, 8(1), 1-14.
- Al-Zoreky, N. S., y Saleh, F. A. (2019). Limited survey on aflatoxin contamination in rice. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(2), 225-231.
- Amaike, S., y Keller, N. P. (2011). *Aspergillus flavus*. *Annual Review of Phytopathology*, 49, 107-133.
- Andrade, P. D., y Caldas, E. D. (2015). Aflatoxins in cereals: worldwide occurrence and dietary risk assessment. *World Mycotoxin Journal*, 8(4), 415-431.
- Bedi, P. S., y Khare, R. (2012). Aflatoxins: Occurrence and their effects-A Review. *Current Trends in Biotechnology and Chemical Research*, 2(1), 15-25.
- Bhatnagar, D., Payne, G., Klich, M., y Leslie, J. F. (2014). Identification of toxigenic *Aspergillus* and *Fusarium* species in the maize grain chain. En J. F. Leslie y A. F. Logrieco (Eds.), *Mycotoxin Reduction in Grain Chains*. Wiley Blackwell.
- Bryden, W. L. (2012). Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1-2), 134-158.
- Castillo-Urueta, P., Carvajal, M., Méndez, I., Meza, F., y Gálvez, A. (2011). Survey of aflatoxins in maize tortillas from México city. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 4(1), 42-51.
- Choi, S., Jun, H., Bang, J., Chung, S-H., Kim, Y., Kim, B.-S., Kim, H., Beuchat, L. R., y Ryu, J.-H. (2015). Behaviour of *Aspergillus flavus* and *Fusarium graminearum* on rice as affected by degree of milling, temperature, and relative humidity during storage. *Food Microbiology*, 46, 307-313.
- Coradi, P. C., Maier, D. E., Channaiah, L. H., y Campabadal, C. (2016). Effect of the processing on the distribution of aflatoxin and fumonisin levels in corn fractions and feeds. *Journal of Food Process Engineering*, 39(3), 215-225.
- Cotty, P. J. (1989). Virulence and cultural characteristics of two *Aspergillus flavus* strains pathogenic on cotton. *Phytopathology*, 79(7), 808-814.
- Dors, G. C., Souza, C. S., Feddern, V., Heidtmann, B. R., Dos Santos, H. H. C., Morales, de S. M., Dos Santos, O. M., Garda-Buffon, J., Gilberto, P. E., y Badiale-Furlong, E. (2011). Aflatoxins: Contamination, analysis and control. En R. Guevara-González (Ed.), *Aflatoxins. Biochemistry and Molecular Biology* (pp. 415-438). IntechOpen.
- Elzupir, A. O., Alamer, A. S., y Dutton, M. F. (2017). Aflatoxin in rice crop: Prevalence and assessment of daily exposure. En J. M. Mérillon y K. Ramawat (Eds.), *Fungal Metabolites* (pp. 219-237). Springer.
- Esmailishirazifard, E., y Keshavarz, T. (2014). Aflatoxin occurrence. En A. G. Faulkner

- (Ed.), *Aflatoxins. Food sources, occurrence and toxicological effects* (pp. 35-62). Nova Publishers.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Filazi, A., y Tansel, S. U. (2013). Occurrence of aflatoxins in food. En A. G. Faulkner (Ed.), *Aflatoxins-Recent Advances and Future Prospects* (pp. 143-170). Intech Open.
- Fu, Z., Huang, X., y Mina, S. (2008). Rapid determination of aflatoxins in corn and peanuts. *Journal of Chromatography A*, 1209(1-2), 271-274.
- García, S., y Heredia, N. L. (2014). Aflatoxins: An overview. En J. B. Dixon, V. A. L. Barrientos y Y. Deng (Eds.), *Aflatoxin Control: Safeguarding animal feed with calcium smectite* (pp. 1-10). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Granados-Chinchilla, F., Molina, A., Chavarría, G., Alfaro-Cascante, M., Bogantes-Ledezma, D., y Murillo-Williams, A. (2017). Aflatoxins occurrence through the food chain in Costa Rica: Applying the one health approach to mycotoxin surveillance. *Food Control*, 82, 2017-226.
- Guzmán-de-Peña, D., y Peña-Carbiales, J. J. (2005). Regulatory considerations of aflatoxin contamination of food in Mexico. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 47(3-4), 160-164.
- Herrera, M., Herrera, A., y Ariño, A. (2014). Aflatoxins in food and feed: Contamination exposure, toxicology and control. En A. G. Faulkner (Ed.), *Aflatoxins. Food sources, occurrence and toxicological effects* (pp. 63-89). Nova Publishers.
- Hussain, I., y Anwar, J. (2008). A study on contamination of aflatoxin M1 in raw milk in the Punjab province of Pakistan. *Food Control*, 19(4), 393-395.
- International Commission on Microbiological Specifications for Food (1996). *Toxigenic Fungi: Aspergillus Microorganism in foods 5. Characteristics of food pathogens* (pp. 347-381). Academic Press.
- Khazaeli, P., Mehrabani, M., Heidari, M. R., Asadikaram, G., y Lari Najafi, M. (2017). Prevalence of aflatoxin contamination in herbs and spices in different regions of Iran. *Iran Journal of Public Health*, 46(11), 1540-1545.
- Kumar, P., Mahato, D. K., Kamle, M., Mohanta, T. K., y Kang, S. G. (2017). Aflatoxins: A global concern for food safety, human health and their management. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1-10.
- Lillard-Roberts, S. (2019). Micotoxins List. *Boletim Científico*, (46). Mold Help Organization. <https://docplayer.net/32968499-Mycotoxin-list-boletim-cientifico-no-46-susan-lillard-roberts-mold-help-organization.html>
- Méndez-Albores, A., y Moreno-Martínez, E. (2009). Las micotoxinas: Contaminantes naturales de los alimentos. *Ciencia*, 60(3), 1-7.
- Mousavi, K. A., Eş, I., Raeisi, S., y Fakhri, Y. (2018). Aflatoxins in cereals: State of the art. *Journal of Food Safety*, 38(6), 1-7.
- Norlia, M., Jinap, S., Nor-Khaizura, M. A. R., Radu, S., Samsudin, N. I. P., y Azri, F. A. (2019). *Aspergillus* section Flavi and aflatoxins: Occurrence, detection, and identification in raw peanuts and peanut-based products along the supply chain. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1-17.

- Organización Mundial de la Salud (2020). *Micotoxinas*. <https://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/mycotoxins>.
- Oyebanji, A. O., y Efiuvwevwere, B. J. O. (1999). Growth of spoilage mould and aflatoxin B1 production in naturally contaminated or artificially inoculated maize as influenced by moisture content under ambient tropical condition. *International Bio-deterioration & Biodegradation*, 44(4), 209-217.
- Payne, G. A., y Widstrom, N. W. (1992). Aflatoxin in maize. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 10(5), 423-440.
- Perrone, G., Gallo, A., y Susca, A. (2010). *Aspergillus*. En D. Liu (Ed.), *Molecular Detection of Foodborne Pathogens. Section IV Foodborne Fungi* (pp. 529-548). CRC Press. Taylor and Francis Group.
- Pleadin, J., Markov, K., Frece, J., Vulić, A., y Perši, N. (2014). Bio-Prevalence, determination and reduction of aflatoxin B1 in cereals. En A. G. Faullner (Ed.), *Aflatoxins. Food sources, occurrence and toxicological effects* (pp. 1-34). Nova Publishers.
- Ponce-García, N., Serna-Saldivar, S. O., y García-Lara, S. (2018). Fumonisin and their analogues in contaminated corn and its processed foods-a review. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(11), 2183-2203.
- Sanchis, V., y Magan, N. (2004). Environmental conditions affecting mycotoxins. En N. Magan y M. Olsen (Eds.), *Mycotoxins in Food. Detection and Control. Part II. Controlling Risks* (pp. 174-189). CRC Press.
- Santini, A., y Ritieni, A. (2013). Aflatoxins: Risk, exposure and remediation. En M. Razzaghi-Abyaneh (Ed.), *Aflatoxins - Recent Advances and Future Prospects* (pp. 343-376). Intech Open.
- Sarma, U. P., Bhetaria, P. J., Devi, P., y Varma, A. (2017). Aflatoxins: Implications on health. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 32(2), 124-133.
- Shapira, R., y Paster, N. (2004). Control of mycotoxins in storage and techniques for their decontamination. En N. Magan y M. Olsen (Eds.), *Mycotoxins in food detection and control* (pp. 190-133). CRS Press.
- Torres, O., Matute, J., Gelineau-van Waes, J., Maddox, J. R., Gregory, S. G., Ashley-Koch, A. E., Showker, J. L., Voss, K. A., y Riley, R. T. (2015). Human health implications from co-exposure to aflatoxins and fumonisins in maize-based foods in Latin America: Guatemala as a case study. *World Mycotoxin Journal*, 8(2), 143-159.
- Wrather, A., Sweets, L., Bailey, W., Claxton, T., Sexten, J., y Carlson, M. (2010). *Aflatoxins in corn. Agricultural MU Guide* (pp. 1-4). University of Missouri Extension.
- Zahara, N., Khan, M., Mehmood, Z., Saeed, M. K., Kalim, I., Ahmad, I., y Malik, K. A. (2018). Determination of aflatoxins in spices and dried fruits. *Journal of Scientific Research*, 10(3), 315-321.
- Zain, M. E. (2011). Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15(2), 129-144.
- Zumbado, S. C. A., Ulloa, F. M., y Rojas, S. G. (2014). Aflatoxina B1 y su relación con el cáncer hepático. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*, 71(612), 637-641.