

## Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

**Ocurrencia mundial de micotoxinas en alimentos elaborados a base de cereales, dulces y productos de confitería: una revisión**

**Global occurrence of mycotoxins in processed cereal-based products, candies, and confectionery products- a Review**

Authors/Autores: Jiménez-Ortega, L.A., Das, G., López-Romero, B.J., Aviles-Gaxiola, S., Kumar-Patra, J., Heredia, J.B.

ID: e1889

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1889>

Received/Fecha de recepción: January 22<sup>th</sup> 2025

Accepted /Fecha de aceptación: March 12<sup>th</sup> 2026

Available online/Fecha de publicación: April 21<sup>th</sup> 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Jiménez-Ortega, L.A., Das, G., López-Romero, B.J., Aviles-Gaxiola, S., Kumar-Patra, J., Heredia, J.B. (2026). Global occurrence of mycotoxins in processed cereal-based products, candies, and confectionery products- a Review . *Revista Bio Ciencias*, 13, e1889. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1889>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

## Ocurrencia mundial de micotoxinas en alimentos elaborados a base de cereales, dulces y productos de confitería: una revisión

### Global occurrence of mycotoxins in processed cereal-based products, candies, and confectionery products- a Review

Micotoxinas en productos alimenticios/

Mycotoxins in foodstuffs

Jiménez-Ortega, L.A.<sup>1</sup> ([ID 0000-0002-9861-8911](#)), Das, G.<sup>2</sup> ([ID 0000-0002-5676-0768](#)), López-Romero, B.J.<sup>1</sup> ([ID 0000-0003-0651-4857](#)), Aviles-Gaxiola, S.<sup>3</sup> ([ID 0000-0003-1938-8140](#)), Kumar-Patra, J.<sup>2</sup> ([ID 0000-0003-4118-4355](#)), Heredia, J.B.<sup>\*1</sup> ([ID 0000-0003-1017-957X](#))

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Carretera a Eldorado Km 5.5, Campo El Diez, 80110, Culiacán, Sinaloa, México.

<sup>2</sup>Research Institute of Integrative Life Sciences, Dongguk University-Seoul, Goyangsi 10326, Republic of Korea

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Occidente. Health Sciences Department. Blvd. Lola Beltrán, Culiacán, Sinaloa, México.

**\*Corresponding Author:**

**José Basilio Heredia.** Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Carretera a Eldorado Km 5.5, Campo El Diez, 80110, Culiacán, Sinaloa, México. E-mail: [jbheredia@ciad.mx](mailto:jbheredia@ciad.mx) Teléfono: (667) 189 0101 <https://www.ciad.mx/>

#### RESUMEN

La industria de la confitería está en constante crecimiento e innovación debido a la alta demanda de dulces y de productos a base de cereales y semillas oleaginosas, especialmente entre niños y adolescentes. Los dulces tradicionales y gourmet, elaborados con cacao, maíz, arroz, trigo, cacahuate, almendras, nueces, avellanas y pistaches, son muy susceptibles a la contaminación por micotoxinas. Debido a los procesos de producción artesanal, resulta difícil eliminar la contaminación química por toxinas. Es bien sabido que las micotoxinas son agentes cancerígenos potenciales que pueden representar un grave problema de salud pública, especialmente para los infantes. Esta revisión tiene como objetivo capturar y discutir el estado del arte sobre la identificación y evaluación de la exposición a micotoxinas en dulces, confitería y productos procesados a base de cereales en todo el mundo. También destaca metodologías novedosas para su evaluación y resume las tendencias pasadas, actuales y futuras para su análisis. Por último, muestra la relevancia del establecimiento de regulaciones estrictas de sanidad y del monitoreo constante de la contaminación por micotoxinas en las industrias alimentarias.

#### PALABRAS CLAVE:

Inocuidad, cáncer, toxinas, hongos, aflatoxinas, cromatografía de líquidos.

## ABSTRACT

The confectionery industry is constantly growing and innovating due to the high demand for candy and cereal-based products, especially among children. Traditional and gourmet sweets, often made from grains, seeds, and cereals such as cocoa, corn, rice, wheat, peanuts, almonds, walnuts, and hazelnuts, are very susceptible to contamination with molds that potentially biosynthesize mycotoxins. Due to the artisanal production processes, it is difficult to eliminate chemical and mycotoxin contamination. It is well known that mycotoxins are potential carcinogenic agents, which can pose a serious public health problem, especially for children. This review aims to capture and discuss the state of the art on the identification and exposure assessment of mycotoxins in sweets, confectionery, and processed cereal-based products worldwide. It also highlights novel methodologies for their assessment and summarizes past, current, and future trending techniques. Lastly, it emphasizes the importance of establishing strict food safety regulations and the ongoing monitoring of mycotoxin contamination in the food industry.

## KEY WORDS:

Food safety, cancer, toxins, fungi, aflatoxins, liquid chromatography.

## Introducción

La seguridad alimentaria desempeña un papel fundamental en la producción, comercialización y consumo de productos alimenticios tradicionales y novedosos a base de cereales y granos. Esto garantiza la seguridad microbiológica y toxicológica de los alimentos al abordar la presencia de posibles patógenos y toxinas en las materias primas. Las toxinas químicas, como las micotoxinas, son conocidas por su estabilidad térmica y química, su persistencia en diversos cereales y su potencial nocividad para la salud humana (Bezerra da Rocha *et al.*, 2014).

Una de las industrias alimentarias con mayor expansión e innovación es la del procesamiento de granos, semillas oleaginosas, confites y postres, ya que estos alimentos son de fácil acceso y se encuentran listos para su consumo, lo que los hace altamente comercializados y demandados por los consumidores. Esta industria ofrece una amplia variedad de productos en cuanto a texturas, colores, sabores y tamaños, que resultan atractivos para diversos mercados (Grahovac & Rončević, 2021). En particular, el consumo de confites y postres predomina en infantes y adolescentes, y aumenta significativamente durante los períodos festivos y las celebraciones tradicionales, como los cumpleaños y la Navidad (Wright, 2017).

Para asegurar la salubridad de los productos alimenticios, principalmente los destinados a infantes, la implementación de sistemas de aseguramiento de calidad e inocuidad son fundamentales ya que estos garantizan la seguridad microbiológica, física y química de los alimentos al abordar los posibles patógenos y toxinas presentes en toda la cadena de producción del campo a la mesa, es decir en las materias primas, procesamiento y producto terminado. Sin embargo, si las técnicas o métodos de muestreo y detección de sustancias químicas resultan ineficaces, podrían dar lugar a la presencia de contaminantes en el producto final, lo que supone un grave riesgo para la salud de los consumidores (Groopman & Wogan, 2016; Noroozi *et al.*, 2022).

Uno de los principales contaminantes químicos presentes en los alimentos son las micotoxinas, conocidas por su estabilidad térmica y química, su persistencia en diversos alimentos como granos y semillas, y su potencial de causar daño severo a la salud humana, por lo que representan un serio riesgo toxicológico (Bezerra da Rocha *et al.*, 2014). Además, pueden ser resistentes a los tratamientos de descontaminación (Taborda *et al.*, 2022). Por ello, numerosos estudios a nivel mundial han dilucidado su presencia en dulces tradicionales, caramelos, galletas, bizcochos, pan dulce y chocolate, entre otros alimentos de consumo diario (Mollay *et al.*, 2022; Niens *et al.*, 2014; Noroozi *et al.*, 2022). Un consumo excesivo y prolongado podría provocar intoxicaciones agudas o crónicas, que se han relacionado con diversos problemas de salud (Mupunga *et al.*, 2017).

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por hongos aflatoxigénicos; presentan un peso molecular bajo (~700 Da) y son conocidas por su diversidad estructural y su prevalencia en una amplia variedad de alimentos. Suelen presentarse en bajas concentraciones, por lo que es crucial emplear técnicas analíticas sensibles y robustas para detectarlas y cuantificarlas con precisión. Las técnicas más utilizadas incluyen métodos cromatográficos como la cromatografía en capa fina (TLC) y la cromatografía líquida (LC), que han evolucionado hasta incluir equipos sofisticados como el HPLC y el UPLC. En casos específicos, la cromatografía de gases (GC) resulta ser una técnica más eficiente, por ejemplo, para la detección de patulina (PAT), deoxinivalenol (DON) y zearalenona (ZEA). Métodos rápidos y eficientes, como el ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA), han demostrado ser útiles para la determinación *in situ*. Por otro lado, los biosensores han surgido recientemente como una herramienta destacada para el análisis de micotoxinas en alimentos de forma rápida y sensible (Janik *et al.*, 2021; Shkempi *et al.*, 2022).

En México y otros países de América Latina, existe un alto consumo de dulces tradicionales elaborados a partir de semillas oleaginosas, cereales y granos como el cacahuate y el maíz. Por lo tanto, es fundamental establecer sistemas eficientes de detección temprana de micotoxinas, en particular de las aflatoxinas, para proteger la salud pública.

Por lo tanto, la presente revisión tiene como objetivo explorar y discutir el estado actual de la presencia de micotoxinas y evaluar la exposición a dichas micotoxinas en dulces, productos de confitería y elaborados a base de cereales en todo el mundo. También se discutieron los factores preponderantes de la proliferación de hongos productores de micotoxinas. Además, se abordaron los métodos de descontaminación, las técnicas analíticas actuales y la legislación mundial vigente. Con ello, se presenta un panorama actual de los productos más susceptibles a la contaminación por hongos aflatoxígenos, con el fin de promover legislaciones específicas y acciones precautorias para minimizar su aparición.

## Micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos principalmente por hongos de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (Azam *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2016). Su biosíntesis se ve influida por el sustrato y las condiciones climáticas del lugar de producción. Por ejemplo, las micotoxinas producidas por *Fusarium* son más frecuentes en cereales europeos como el trigo, donde predominan los climas fríos (Luo *et al.*, 2021), mientras que las producidas por *Aspergillus*, como las aflatoxinas, son más comunes en climas cálidos y húmedos. Sin embargo, debido al cambio climático, actualmente se encuentran en regiones donde antes no estaban presentes, lo que potencialmente conlleva una mayor contaminación de alimentos y, por consiguiente, un mayor riesgo para los consumidores (Azam *et al.*, 2021; Gacem *et al.*, 2020).

A la fecha, se conocen más de 400 categorías de micotoxinas, incluidas las fumonisinas (FUM), producidas por *Fusarium verticillioides* y *Fusarium proliferatum*. Dentro de estas, la FUM B1 resalta, ya que, según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), es posiblemente cancerígena para los humanos (Azam *et al.*, 2021; Greeff-Laubscher *et al.*, 2020).

Por otro lado, la zearalenona (ZEN) es una micotoxina no esteroide producida por varias especies de *Fusarium*, entre ellas la responsable de producir más de 170 micotoxinas tricotecnas. Por su parte, la patulina (PAT) es producida por ciertas especies de *Aspergillus* y de *Penicillium*, como *Aspergillus clavatus*, *P. expansum*, *P. patulum*, *P. aspergillus* y *P. byssochlamys*. La ocratoxina A (OTA) es producida por *Penicillium* y *Aspergillus*, principalmente por *Penicillium verrucosum*, *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus melleus* y *Aspergillus petrakii* (Binder *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2016).

Cabe mencionar que las aflatoxinas (AF) son las micotoxinas más comunes en los alimentos y están clasificadas como carcinógenos humanos por la IARC. Estas son producidas por *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus nomius* (El-Sayed *et al.*, 2022; Flores-Flores *et al.*, 2015). En la Tabla 1 se resumen los principales tipos de hongos micotoxigénicos y las principales micotoxinas que producen.

La Figura 1 muestra los factores que influyen en la producción de aflatoxina B1 (AFB1) en los granos, así como su estructura química.

**Tabla 1.** Hongos micotoxigénicos y principales micotoxinas producidas

Hongo	Micotoxina	Abreviación
<i>A. flavus</i> y <i>A. parasiticus</i>	Aflatoxina B1, B2, G1, G2	AFB1, AFB2, AFG1, AFG2
<i>P. expansum</i>	Patulina	PAT
<i>A. ochraceus</i> y <i>P. verrucosum</i>	Ocratoxina A	OTA
<i>P. citrinum</i>	Citrina	CIT
<i>F. verticillioides</i>	Fumonisinias B1, B2	FB1, FB2
<i>F. graminearum</i>	Deoxinivalenol, nivalenol, zearalenona	DON, NIV, ZEN
<i>F. sporotrichioides</i>	Toxina T-2 y HT-2	T-2, HT-2

 (Miliordos *et al.*, 2025; Chen *et al.*, 2025)

### Efectos de la exposición y toxicidad de las micotoxinas en la salud humana

Las micotoxinas pueden causar aflatoxicosis, ergotismo y aleucia alimentaria, que se caracterizan por afectar gravemente al cuerpo humano de diversas maneras. Por ejemplo, la aflatoxicosis puede clasificarse como crónica o aguda (Agriopoulou *et al.*, 2020; Ostry *et al.*, 2017; Tola & Kebede, 2016; Winter & Pereg, 2019). Sin embargo, los efectos del contacto directo con micotoxinas difieren en cuanto a su toxicidad para humanos y animales (Agriopoulou *et al.*, 2020; Taheur *et al.*, 2019). En humanos, las micotoxinas causan mutación e inactivación de genes supresores del cáncer, como el P53, BRCA1 y BCRA2 (Ahmed Adam *et al.*, 2017). La exposición a micotoxinas cancerígenas puede ocurrir por la ingestión o la inhalación de partículas provenientes de alimentos contaminados. Una vez que las aflatoxinas entran en contacto con las células, son metabolizadas por la acción del citocromo P450, una enzima microsomal, que produce aflatoxina-8,9-epóxido específicamente en la vía de desintoxicación de las aflatoxinas. Este último compuesto es altamente reactivo e inestable, ya que requiere unirse a una molécula de ADN o a una proteína para estabilizarse. Cuando la aflatoxina-8, 9-epóxido se une al ADN, forma aflatoxina-N-7-guanina la cual causa mutaciones de transversión de guanina (G) a timina (T), que afectan directamente al ciclo celular al impactar en el gen P53, el cual es responsable de regular la expresión de proteínas supresoras de tumores, por lo que una alteración en su actividad estimula el desarrollo de tumores y de diferentes tipos de cáncer (Bbosa, 2013).

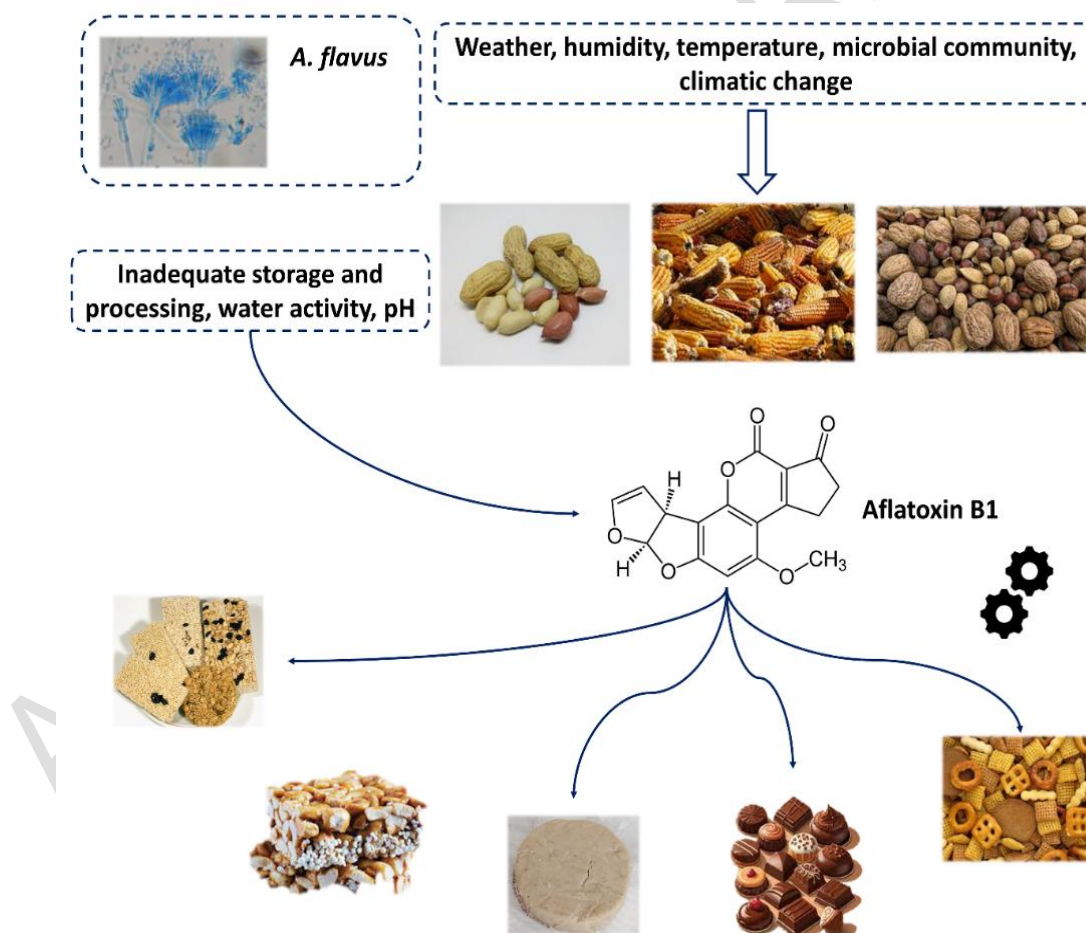
Los seres humanos se encuentran en constante exposición a las micotoxinas debido a las malas prácticas agrícolas y de producción recurrentes (Peraica *et al.*, 2014). Las micotoxinas pueden estar presentes en el campo durante la siembra, producción, cosecha y posterior almacenamiento de granos y cereales; sin embargo, también pueden encontrarse en otras materias primas, como lácteos y alimentos derivados de ellos, debido al consumo de piensos contaminados por el ganado. Sin embargo, otros factores juegan un rol importante en la aparición de micotoxinas como la utilización de insumos agrícolas inadecuados, manipulación y procesamiento no regulado, cultivos locales (no regulados), nula o baja concienciación sobre los riesgos de la contaminación por toxinas, incentivos mínimos para programas de educación y capacitación, y falta de regulaciones adecuadas sobre toxinas en alimentos (Molina-Pintor *et al.*, 2021). Como resultado, un gran número de personas alrededor del mundo, principalmente habitantes de países en vías de desarrollo, quedan expuestas a una mezcla compleja de micotoxinas a través de sus dietas (Ojuri *et al.*, 2019).

La principal vía de exposición en humanos es la ingestión de alimentos contaminados, pero se ha demostrado que también es posible la inhalación o la exposición dérmica (Peraica *et al.*, 2014). Los bebés y los niños son probablemente el subgrupo más afectado debido a una mayor ingestión y

al consumo frecuente y elevado de alimentos a base de cereales y de productos de confitería-repostería, en proporción a su peso corporal. Además, al encontrarse en desarrollo, los órganos y el sistema inmunológico pueden predisponerlos a efectos tóxicos agudos y crónicos (Adaku-Chilaka & Mally, 2020). Por otro lado, su fisiología, metabolismo, menor masa corporal, mayor tasa metabólica, funciones orgánicas y mecanismos de desintoxicación subdesarrollados, los vuelve mayormente susceptibles en comparación con adultos (Arce-López *et al.*, 2021; Peraica *et al.*, 2014).

Además, la exposición a micotoxinas se ha asociado con un crecimiento y desarrollo deficiente, mayor susceptibilidad a infecciones, patologías del neurodesarrollo, trastorno del espectro autista y enfermedades degenerativas a largo plazo como resultado de efectos cancerígenos, nefrotóxicos, neurotóxicos, hepatotóxicos, genotóxicos, inmunotóxicos, estrogénicos y teratogénicos, entre otros (Alassane-Kpembi *et al.*, 2017; De Santis *et al.*, 2019; Shirima *et al.*, 2015). Un reciente artículo de revisión publicado por Mafe & Büsselberg (2024) menciona que las micotoxinas, son responsables y están directamente asociadas con el cáncer de hígado, esofágico y de riñón, debido a múltiples mecanismos relacionados con el estrés oxidativo, modificaciones epigenéticas, y supresión inmune.

El principal órgano objetivo de las micotoxinas es el hígado llegando a producir hepatitis aguda, cirrosis e incluso la muerte (Azam *et al.*, 2021; FAO *et al.*, 2017; Wild *et al.*, 2015). La Figura 2 muestra las principales vías de metabolización de la aflatoxina B1 en el hígado.



**Figura 1. Factores climáticos que influyen en la contaminación de granos y semillas por *A. flavus* y factores fisicoquímicos que favorecen la biosíntesis de aflatoxina B1. Todas las figuras están bajo la licencia libre Creative Commons (CC).**

## Factores que afectan la contaminación por micotoxinas

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), aproximadamente el 25 % de los productos agrícolas a nivel mundial están contaminados con micotoxinas de importancia médica (Omotayo *et al.*, 2019). Esto conlleva importantes pérdidas económicas debido a la imposibilidad de comercializar estos cultivos. Por lo tanto, es fundamental comprender los factores que promueven la prevalencia de hongos micotoxigénicos para controlarlos lo más eficazmente posible. La contaminación por micotoxinas es un problema mundial, particularmente en condiciones ambientales cálidas y húmedas, que favorecen la proliferación de hongos (Agriopoulou *et al.*, 2020; Azam *et al.*, 2021). Los factores específicos que influyen en la biosíntesis de micotoxinas varían según los diferentes estadios fisiológicos del grano y su composición. Sin embargo, los factores más importantes en cualquier etapa son la alta humedad y la alta temperatura (Magan *et al.*, 2011).

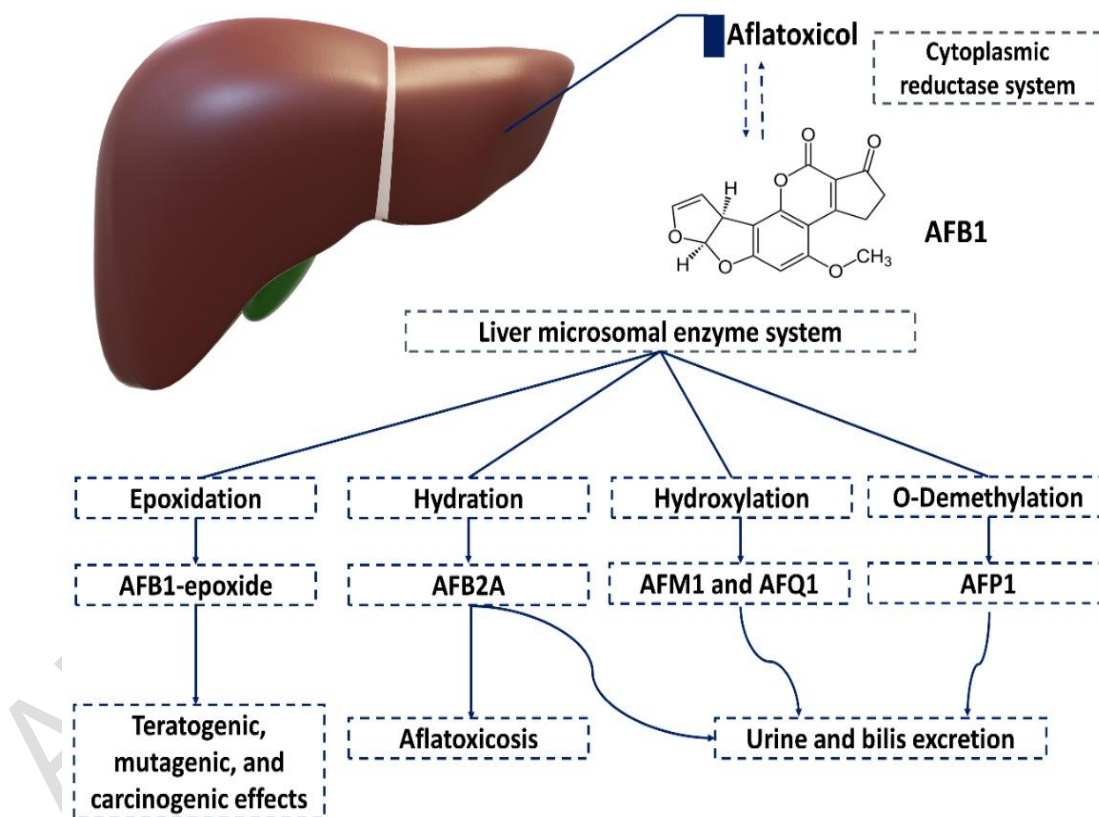


Figura 2. Ruta de metabolización de AFB1 en el hígado. Elaboración propia

### Según la etapa de producción

Los factores que afectan la biosíntesis y la presencia de micotoxinas en diferentes etapas incluyen la temperatura, la humedad, la cantidad de inóculo de esporas, las infecciones por insectos, el estrés de la planta, la resistencia a fungicidas, la nutrición mineral, el daño causado por otros

hongos y el daño mecánico en el campo (Matumba *et al.*, 2021). La temperatura óptima para el desarrollo de hongos en el campo es de 20 a 25 °C, con una actividad de agua (aw) > 0.85 y una humedad relativa de 70 a 90 % (Agriopoulou *et al.*, 2020). Durante la cosecha, la temperatura, la humedad, el daño mecánico y la cantidad del inóculo de hongo son factores determinantes (Jacobsen, 2014). Después de la cosecha, la temperatura y la humedad son cruciales, ya que los hongos presentes en el almacenamiento requieren una humedad menor y temperaturas más altas que los que se desarrollan en el campo (Agriopoulou *et al.*, 2020). El tiempo también es un factor importante, ya que los períodos de almacenamiento más prolongados conducen a una mayor biosíntesis de micotoxinas (Magan & Aldred, 2007). La toxicidad de las micotoxinas puede aumentar tras la cosecha y el almacenamiento debido al procesamiento de los alimentos, lo que puede promover cambios en su estructura química y conducir a una mayor toxicidad y biodisponibilidad (Karlovsy *et al.*, 2016). Las micotoxinas son estables frente a los tratamientos químicos y físicos, y permanecen estables después de procesos como la pasteurización, la cocción, el asado, el hervido, la fritura y el horneado (Alshannaq & Yu, 2017).

### Según la composición del sustrato

Los cereales como el arroz, el trigo y el maíz suelen almacenarse durante todo el año para abastecer de forma continua a la población mundial, por lo que, si el almacenamiento no es adecuado, pueden contaminarse con hongos aflatoxígenos. En cuanto a la composición del sustrato, el maíz es el cultivo más propenso a la contaminación por *Fusarium* y *Aspergillus*, mientras que el arroz es el más resistente (Milićević *et al.*, 2016). El tipo de cereal y su composición nutricional, en particular los carbohidratos, influyen en la presencia de micotoxinas (Embaby *et al.*, 2013). Por ejemplo, la acumulación de aflatoxinas está influenciada por carbohidratos como la maltosa, la glucosa y la sacarosa, aminoácidos como la arginina, el ácido glutámico y el ácido aspártico, y minerales como el zinc y el hierro (Liu *et al.*, 2016).

### Según las condiciones climáticas

La prevalencia y la acumulación de micotoxinas se ven influenciadas por condiciones ambientales específicas. La aflatoxina se desarrolla en ambientes tropicales y subtropicales, particularmente en el maíz, donde *A. flavus* promueve la formación y acumulación de aflatoxina B1 (Groopman *et al.*, 2014; Mannaa & Kim, 2017). *A. flavus* puede crecer en un amplio rango de temperaturas, de 19 a 35 °C, con un crecimiento óptimo a 28 °C. También puede crecer en actividades de agua desde 0.73 hasta 0.95 aw (Magan *et al.*, 2011).

Es importante señalar que la presencia de hongos no implica necesariamente la producción de micotoxinas. Por ejemplo, para la producción de aflatoxina, se deben presentar temperaturas de entre 24 y 30 °C y 0,95 de aw; esto para el desarrollo óptimo de *A. flavus*. Es importante mencionar que la toxina ya no se produce a temperaturas superiores a 35 a 37 °C debido a cambios en los patrones de expresión de los genes relacionados con su producción (Mannaa & Kim, 2017). *A. flavus* también puede crecer en plantas estresadas o senescentes, promoviendo la producción de aflatoxinas tras 14 días de incubación, especialmente después de la cosecha, por lo que durante el almacenamiento pueden presentarse aflatoxinas (Ritter *et al.*, 2011).

Asimismo, *P. verrucosum*, *A. ochraceus* y *A. carbonarius* son responsables de la producción de ocratoxina (OTA). *P. verrucosum* se encuentra con frecuencia en cultivos que crecen en climas templados y fríos, como en Canadá y en el norte de Europa. Aunque *P. verrucosum* coloniza la planta en el campo, la contaminación por micotoxinas ocurre después de la cosecha (Wawrzyniak & Waśkiewicz, 2014). *A. ochraceus* se encuentra con frecuencia en alimentos almacenados. Mientras que *A. carbonarius* prospera a una temperatura entre 32 y 35 °C y es resistente a la luz solar. La temperatura óptima para la producción de ocratoxina es de 25 °C, pero la toxina también se ha encontrado a temperaturas tan bajas como 5–10 °C. Su crecimiento ocurre a niveles de actividad de agua (aw) de 0.90 a 0.95 (Lasram *et al.*, 2010).

Las fumonisinas (FUM) prosperan en condiciones de alta humedad y clima cálido, lo que las hace particularmente favorecidas por los efectos del calentamiento global y muy reportadas en el

maíz y en alimentos a base de este grano. Las principales especies que producen FUM son *F. verticillioides* y *F. proliferatum*. Sin embargo, se ha reportado el crecimiento de hongos a temperaturas que van de 4 a 37 °C y a una aw de 0.90 (Magan *et al.*, 2011). Los hongos productores de FUM como *F. verticillioides* infectan los cultivos antes de la cosecha, pero también durante la producción (Venturini *et al.*, 2011). La colonización de FUM ocurre en el maíz en el campo y en los cultivos almacenados cuando el contenido de humedad es alto (Milani, 2013). La producción de FUM se reporta en el rango de 10 a 37 °C, siendo la temperatura óptima de 15 a 30 °C. Su crecimiento se ha reportado con una aw de 0.93 (Cendoya *et al.*, 2018). El maíz es el cereal en el que se producen con mayor frecuencia los FUM, y se ha descubierto que muchos alimentos derivados del maíz los contienen (Ponce-García *et al.*, 2018).

La producción de deoxinivalenol (DON) ocurre en un ambiente menos cálido y puede producirse a 15 °C, siendo su temperatura óptima 25 °C y una aw de 0.99 (Ramírez *et al.*, 2006; Reddy *et al.*, 2010). Los hongos productores de DON como *F. graminearum* infectan los cultivos antes de la cosecha y promueven su contaminación en el campo (Agriopoulou *et al.*, 2020). La zearalenona (ZEA) también se encuentra en el maíz y en otros cereales como la avena, el centeno, el trigo y la cebada, y es producida por *F. culmorum* y *F. graminearum*. Las condiciones óptimas para su producción son una temperatura de 28 °C y una aw de 0.97 (Jiménez *et al.*, 1996).

### Otros factores

Además de la temperatura y la humedad, otros factores importantes incluyen la expresión de enzimas hidrolíticas, como  $\beta$ -D-xilosidasa,  $\beta$ -D-galactosidasa,  $\beta$ -D-fucosidasa,  $\alpha$ -D-galactosidasa y N-acetil- $\beta$ -D-glucosaminidasa, que desempeñan un papel significativo en la prevalencia de hongos en múltiples sustratos (Mannaa & Kim, 2017). El cambio climático afecta los patrones de temperatura y precipitación; por consiguiente, también impacta en la prevalencia de hongos productores de micotoxinas (Wu & Mitchell, 2016). Por ejemplo, las altas temperaturas favorecen la prevalencia de *Aspergillus* spp., y el cambio climático se ha asociado con un aumento de los brotes de insectos, lo que puede facilitar una invasión fúngica (Van der Fels-Klerx *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2011).

### Presencia de micotoxinas a nivel mundial en productos a base de cereales

La presencia de micotoxinas en productos a base de cereales es generalizada en todo el mundo. Distintos cereales pueden ser infectados por diversos hongos, lo que conduce a la producción de distintos tipos de micotoxinas. Los alimentos y los piensos suelen estar compuestos por distintos granos, lo que hace que la contaminación o la coexposición sea muy común (Luo *et al.*, 2021). Esto se ve agravado aún más por la diversa gama de productos potencialmente contaminados en la dieta de la mayoría de la población. Los cereales, en particular el maíz debido a su valor nutricional, se utilizan con frecuencia en la producción de dulces tradicionales, botanas y harinas (Adaku-Chilaka & Mally, 2020). Las AF, FB, OTA, DON y ZEN se encuentran entre las micotoxinas más comunes identificadas en productos alimenticios, siendo el pan, las galletas y los cereales para el desayuno los más contaminados (Tabla 2) (Kamle *et al.*, 2019; Onyeke, 2020; Wang, 2020).

Por ejemplo, Andrade *et al.* (2020) analizaron 646 muestras de alimentos, incluidas 317 de maíz, 285 de trigo y 44 de arroz. Los autores dilucidaron que las micotoxinas más prevalentes en las muestras fueron DON, FB1, FB2 y ZEN, con tasas positivas del 57.1 %, 48.1 %, 44.3 % y 12.5 % respectivamente. De manera similar, Li *et al.* (2014) examinaron la concentración de AF, AFB1, OTA, ZEN y DON en productos a base de cereales en la región del delta del Yangtze en China. Los autores encontraron que la incidencia de AFs y AFB1 fue del 14.5 % (11 de 76 muestras).

Por otro lado, el trigo se utiliza en una amplia variedad de productos de panadería, como pan blanco, cereales para el desayuno, galletas, pasteles, pastas, entre otros. Por lo tanto, la contaminación del trigo con micotoxinas es un problema crítico en la cadena alimentaria y en la de los piensos para la alimentación animal. Según Khodaei *et al.* (2021) las principales micotoxinas identificadas en trigo son DON, ZEN, AFB1, OTA, tricotecenos (HT-2/T-2), AFs y FUM. Cabe mencionar que solo el 16.6 % de las muestras superaron los niveles recomendados por la Unión

Europea (UE). En concreto, el 50 % de las muestras superaron los niveles recomendados para AFs, el 40% para AFB1 y el 22.2 % para ZEN.

También se han detectado otras micotoxinas en el maíz, además de FUM (Khodaei *et al.*, 2021). Por ejemplo, Hassan *et al.* (2017) mencionaron que el 70 % y el 40 % de las muestras de maíz resultaron positivas para AF y OTA, con concentraciones promedio de 33 ppm y 180 ppm, respectivamente.

Hassan *et al.* (2018) identificaron contaminación por altos niveles de micotoxinas en alimentos para bebés, en particular, fideos y galletas. El estudio reveló que el 14 % de las muestras superaba los límites máximos de la UE para DON, OTA y AFB1. De manera similar, Blankson & Mill-Robertson (2016) analizaron 35 muestras de productos alimenticios a base de cereales para bebés en Accra, Ghana, y determinaron que el 71 % presentaba niveles de AFB1 (0.32 µg/kg). Además, Mollay *et al.* (2022) analizaron alimentos complementarios a base de cereales y cacahuates en Kongwa, Tanzania, identificando que un porcentaje significativo (82.14 %) de los ingredientes, principalmente maíz, estaba contaminado con AFB1.

Además, Ayeni *et al.* (2023) identificaron FUM y AFB1 en alimentos complementarios nigerianos a base de cereales, como pan, galletas, natillas y fórmulas infantiles de leche. Mientras que en China se observó que un alto porcentaje (73.7 %) de 820 muestras de alimentos infantiles a base de cereales, incluidos postres, estaban contaminados con DON, ZEN, FB1, FB2, OTA y TeA. Sin embargo, el riesgo dietético se consideró aceptable (Ji *et al.*, 2022).

Por otro lado, Wan *et al.* (2020) señalan que las micotoxinas pueden sobrevivir al procesamiento de alimentos y que diferentes tratamientos, como la molienda, la fermentación, el horneado y la cocción, pueden influir en los niveles de micotoxinas en los productos finales (Sarmast *et al.*, 2021).

Por ejemplo, Mousavi-Khaneghah *et al.* (2018) mencionan que los procesos de molienda y fermentación durante la producción de alimentos a base de pan y pasta pueden aumentar la concentración de DON y TAF al mismo tiempo que reducen ZEN y OTA, y que el procesamiento térmico también puede disminuir los niveles de DON, OTA y TAF, pero aumenta la concentración de ZEN en el pan. Además, el proceso de cocción reduce DON y ZEN en las galletas, por el contrario, durante el proceso de cocción de la pasta, la concentración de TAF aumenta y la de DON disminuye. Este estudio mostró que la presencia y la estabilidad de las micotoxinas se ven influenciadas por las operaciones unitarias involucradas en la preparación de productos a base de cereales y granos.

**Tabla 2.** Ocurrencia mundial de micotoxinas en productos alimenticios a base de cereales

Materia prima	Origen	Alimentos	Número de muestras	Método de cuantificación	Concentración (promedio/mediana ppm)	Ref.			
Trigo	Brasil	Trigo molido	30	HPLC-DAD	DON 1895	(Savi <i>et al.</i> , 2016)			
		Harina	30		DON 1305				
		Salvado	30		DON 2278				
		Pan	30		DON 491				
		Galleta	30		DON 739				
	China	Pan	Pan	51	UPLC-MS/MS	DON 48.3	(Jiang <i>et al.</i> , 2018)		
						3-Ac-DON 1.16			
		Galletas	Galletas	49	HPLC	DON 276.8	(Zhao <i>et al.</i> , 2015)		
						3-Ac-DON 4.36			
						15-Ac-DON 5.21			
		Harina	Harina	181	HPLC	TeA 88.4 ± 66.7	(Zhao <i>et al.</i> , 2015)		
						AOH 30.2 ± 23.6			
						TEN 27.1 ± 19.2			
		Fideos	Fideos	52	HPLC	AME 3.77 ± 6.40	(Zhao <i>et al.</i> , 2015)		
						TeA 47.6 ± 39.4			
AOH 10.7 ± 1.09									
TEN 13.9 ± 8.57									
AME 1.17 ± 9.21									
Pan	Pan	50	HPLC	TeA 11.7 ± 9.21	(Zhao <i>et al.</i> , 2015)				
				TEN 8.37 ± 4.82					
				AME 1.07 ± 1.39					
Pan al vapor	Pan al vapor	40	HPLC	TeA 21.2 ± 9.66	(Zhao <i>et al.</i> , 2015)				
				TEN 10.7 ± 8.15					
Alemania	Alemania	Productos de panadería	9	HPLC-MS/MS	AME 0.640 ± 0.330	(Hickert <i>et al.</i> , 2016)			
					Galletas		49	LC-MS/MS	AFB1 0.05
					Pan blanco		72	HPLC-MS/MS	STC 0.12
					Pan integral		25	HPLC-MS/MS	STC 0.12
					Productos de panadería		9	HPLC-MS/MS	AOH 13



Materia prima	Origen	Alimentos	Número de muestras	Método de cuantificación	Concentración (promedio/mediana ppm)	Ref.
					AME 2.5 TeA 133.8 TEN 8-9 MON 13.3	(Herrera <i>et al.</i> , 2017)
	Países bajos y Alemania	Pasta	25	LC-Orbitap-HRMS		
	Pakistan	Pan	5	LC	OTA 1.96	(Majeed <i>et al.</i> , 2017)
	Paraguay	Galletas Pan blanco	5 27	DON-V Test Strips	OTA 23.93 DON 0.55 ± 0.099	(Arrúa <i>et al.</i> , 2019)
	Romania	Galletas integrals importadas Galletas integrales nacionales Pan	27 9 5	LC-MS/MS	DON 11.86 ± 2.751 DON 0.13 ± 0.049 OTA 0.00625	(Vartolomei <i>et al.</i> , 2014)
		Harina	41		ENB 1.8	(Stanciu <i>et al.</i> , 2017)
		Pasta	40		ENB1 0.5 ENB 10.4 ENB1 1.9	
		Cereal de desayuno	7		ENB 1.9	
		Galletas	23		ENB1 0.5 ENB 1.7 ENB1 0.7	
	España	Pizza	60		AFB1 4.09 AFB2 0.50 AFG1 0.79 AFS 2.36 ZEN 77.78 ENA 14.96 ENA1 4.54 ENB 3.37 ENB1 1.69 ENS 8.87 BEA 22.39	(Quiles <i>et al.</i> , 2016)



Materia prima	Origen	Alimentos	Número de muestras	Método de cuantificación	Concentración (promedio/mediana ppm)	Ref.
		Pan blanco	16	LC-MS/MS	AFB1 5.6 AFB2 3.6 AFG1 2.9	(Saladino <i>et al.</i> , 2017)
	Tailandia	Fideos	50		DON 890	(Pralatnet <i>et al.</i> , 2016)
	Túnez	Pan	50		DON 1,104	
		Pan blanco	59	GC-MS/MS	DON 3.3 ENB0.36	(Oueslati, 2020)
		Pan integral	38		DON 8.9 ENB 4.02 ENB1 2.02	
		Galletas	18		DON 29.1	
Multigrano	Estados Unidos	Comida para infantes	35	LC-MS/MS	ENB 0.76 DON 35	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)
		Cereal de desayuno	15		FBs 1 ZEN 1 DON 8 FBs 4 OTA 1 ZEN 1	
Maíz	Honduras	Corn kernels	48	ELISA	AFs 5.66 ± 7.71	(Cabrera-Meraz <i>et al.</i> , 2021)
		Masa	48		AFs 1.88 ± 2.54	
		Tortillas	48		AFs 1.08 ± 1.62	
	México	Pasta	3	LC-HRMS	FB1 860 FB2 190	(De Girolamo <i>et al.</i> , 2014)
		Tortilla chips	3		FB1 630 FB2 210 PHFB1 30 HFB1 30	
		Hojuelas de maíz	2		FB1 490 FB2 80 PHFB1 10 PHFB2 10	
		Hojuelas de maíz	2		FB1 60 PHFB1 60	



Materia prima	Origen	Alimentos	Número de muestras	Método de cuantificación	Concentración (promedio/mediana ppm)	Ref.
		Tortillas	40	HPLC/FLD	AFs FBs	(Wall Martínez <i>et al.</i> , 2019)
	Países bajos y Alemania	Varios	23	LC-Orbitap-HRMS	MON 111	(Herrera <i>et al.</i> , 2017)
	Paquistán	Hojuelas de maíz	5	LC	OTA 6.34	(Majeed <i>et al.</i> , 2017)
	Estados Unidos	Cereal de desayuno	5	LC-MS/MS	DON 1 FBs 2 ZEN 1	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)
Avena	Estados Unidos	Cereal de desayuno	203	HPLC-FLD	OTA 0.1-9.3	(Mitchell <i>et al.</i> , 2017)
		Cereal de niños	51	HPLC	OTA 0.6-22.1	Zhang <i>et al.</i> , (2018)
		Cereal de niños	32	LC-MS/MS	DON 29 T-2 3 OTA 1 ZEN 11	
		Cereal de desayuno	25		DON 16 FBs 1 OTA 1 ZEN	
Wheat	Pakistan	Cereal de desayuno	237	HPLC	OTA 2.22 ± 0.87 ZEN 9.91 ± 1.91	(Iqbal <i>et al.</i> , 2014)
Maize	Lisboa	Cereal de desayuno	6		AFB1 0.009 AFB2 0.002 OTA 0.028 FB1 19.0 FB2 4.2 DON 59 ZEN 0.7	(Martins <i>et al.</i> , 2018)
Maize						
Wheat						
Rice						
ND	Bélgica	Galletas	10	LC	CIT 0.043 ± 0.03 OTA 0.10 ± 0.14	(Meerpoel <i>et al.</i> , 2021)
		Pan	119		CIT 0.16 ± 0.34 OTA 0.03 ± 0.3	
		Croissants	6		CIT 0.10 ± 0.12 OTA 0.05 ± 0.06	
		Harina	16		CIT 0.29 ± 0.60 OTA 0.04 ± 0.08	
		Cereal reventado	6		CIT 0.085 ± 0.10	

Materia prima	Origen	Alimentos	Número de muestras	Método de cuantificación	Concentración (promedio/mediana ppm)	Ref.
	Rumania	Popped cereals	5	LC-MS/MS	OTA 0.00106	(Vartolomei <i>et al.</i> , 2014)

**Nota:** 15-ac-DON: 15-desoxiacetil-deoxinivalenol, 15-ADON: 15-acetil-deoxinivalenol, 3-ac-DON: 3-acetil-deoxinivalenol, 3-ADON: Deoxinivalenol-3-glucósido, AME: Éter monometílico de alternariol, AOH: Alternariol, BEA: Beauvericina, CIT: Citrinitina, DAS: diacetoxiscirpenol, ENA: enniatina A, ENA1: enniatina A1, ENB: enniatina B, ENB1: enniatina B1, EN: enniatinas, FB: fumonisinas, FUS-X: fusarenon X, MON: moniliformina, PHFB: fumonisina parcialmente hidrolizada, STC: esterigmatocistina, TeA: Ácido tenuazónico, DIEZ: Tentoxina, ZEN-4G: Zearalenona-14-glucósido, ZEN: Zearalenona, zen4g: Zearalenona-4-glucósido, zen4s: Zearalenona-4-sulfato,  $\alpha$ -zen-4g:  $\alpha$ -zearalenol-4-glucósido,  $\alpha$ -zen:  $\alpha$ -zearalenol,  $\alpha$ -zol:  $\alpha$ -zearalenol,  $\alpha$ -zol-4g:  $\alpha$ -zearalenol-4-glucósido,  $\beta$ -zen:  $\beta$ -zearalenol,  $\beta$ -azol:  $\beta$ -zearalenol,  $\beta$ -zen-4G:  $\beta$ -zearalenol-4-glucósido,  $\beta$ -zol-4g:  $\beta$ -zearalenol-4-glucósido. **Note:** 15-ac-DON: 15-deoxyacetil-deoxynivalenol, 15-ADON: 15-acetyl-deoxynivalenol, 3-ac-DON: 3-acetyl-deoxynivalenol, 3-ADON: Deoxynivalenol-3-glucoside, AME: Alternariol monomethyl ether, AOH: Alternariol, BEA: Beauvericin, CIT: Citrinin, DAS: Diacetoxyscirpenol, ENA: Enniatin A, ENA1: Enniatin A1, ENB: Enniatin B, ENB1: Enniatin B1, ENs: Enniatins, FBs: Fumonisin, FUS-X: Fusarenon X, MON: Moniliformin, PHFB: Partially hydrolyzed fumonisin, STC: Sterigmatocystin, TeA: Tenuazonic acid, TEN: Tentoxin, ZEN-4G: Zearalenone-14-glucoside, ZEN: Zearalenone, zen4g: Zearalenone-4-glucoside, zen4s: Zearalenone-4-sulfate,  $\alpha$ -zen-4g:  $\alpha$ -zearalenol-4-glucoside,  $\alpha$ -zen:  $\alpha$ -zearalenol,  $\alpha$ -zol:  $\alpha$ -zearalenol,  $\alpha$ -zol-4g:  $\alpha$ -zearalenol-4-glucoside,  $\beta$ -zen:  $\beta$ -zearalenol,  $\beta$ -azol:  $\beta$ -zearalenol,  $\beta$ -zen-4G:  $\beta$ -zearalenol-4-glucoside,  $\beta$ -zol-4g:  $\beta$ -zearalenol-4-glucoside.

ARTÍCULO ENTREGADO

## Presencia mundial de micotoxinas en dulces y productos de confitería

En la vida diaria de la mayoría de las personas en todo el mundo, el chocolate se ha convertido en el postre preferido, especialmente entre las generaciones más jóvenes (Brera *et al.*, 2011; Naz *et al.*, 2017). El consumo de chocolate con alto contenido de cacao ha aumentado debido a sus importantes beneficios para la salud; sin embargo, estos productos a menudo presentan altos niveles de OTA y AF debido a la contaminación de los granos de cacao por hongos micotoxigénicos durante el procesamiento y a las malas prácticas de manufactura. Investigaciones han demostrado que las OTA son las micotoxinas predominantes en el cacao (Copetti *et al.*, 2014; Copetti *et al.*, 2010; Copetti *et al.*, 2013; Sánchez-Hervás *et al.*, 2008; Naz *et al.*, 2017). Por ejemplo, un estudio en Italia identificó que 179 de 300 muestras de productos a base de cacao y chocolate estaban contaminadas con OTA (Brera *et al.*, 2011).

Por otro lado, en Brasil, durante las celebraciones folclóricas, se produce un alto consumo de dulces hechos con cacahuete, como la paçoca (dulce similar al mazapán mexicano), un dulce popular elaborado principalmente con azúcar, cacahuete, harina de maíz o de mandioca y sal. La calidad del maní utilizado en la elaboración de paçoca es crucial (Junior *et al.*, 2016). Los altos niveles de humedad y las condiciones inadecuadas de almacenamiento en Brasil conducen a la contaminación del maní con *Aspergillus* spp (Iha *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2014). Estudios recientes mencionan la contaminación con aflatoxinas en paçoca comercializada en la ciudad de Río de Janeiro, donde el 71 % de las muestras evaluadas resultaron positivas, alcanzando hasta 38,8 µg/kg. De estas, 6 muestras superaron los límites máximos establecidos por la regulación brasileña (20 µg/kg) (da Silva *et al.*, 2024).

De manera similar, informes de Italia mencionan la presencia de AF y OTA en varios productos alimenticios importados al país, siendo la crema de avellana y las uvas deshidratadas los principales productos contaminados (Imperato *et al.*, 2011).

En Taiwán, Chen *et al.*, 2016 cuantificaron aflatoxinas en dulces a base de maní y artículos relacionados, como especias, nueces, café y trigo, las cuales superaban las 15 ppb. En Malasia, la proliferación de hongos aflatoxigénicos en granos de cacao, cacahuete y otros cereales se encuentra ampliamente extendida debido al clima tropical, lo que conlleva la formación de varios tipos de micotoxinas (Afsah-Hejri *et al.*, 2013). De manera similar, en Lagos, Nigeria, se encontró contaminación por AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub> y ZEA en dulces de coco, coco horneado, cuajada de leche, pastel de cacahuete, donkwa, frutas secas y frescas (Rubert *et al.*, 2013). En muestras de mazapán de cacahuete y nuez comercializadas en el área metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México, se encontraron altas concentraciones de TAF y AFB<sub>1</sub>, destacando el alto contenido de TAF en el mazapán de cacahuete (9,25 mg/kg) y 144,17 mg/kg de AFB<sub>1</sub> (Jiménez-Ortega *et al.*, 2021).

Por otro lado, se ha detectado la presencia de AFS en crema de cacahuete proveniente de Sudán, con un valor de 287 µg/kg. En postres como el ice-kenkey de Ghana, se ha identificado AFB<sub>1</sub> en concentraciones de hasta 20.54 µg/kg (Di Salvo *et al.*, 2025). Incluso en varios subproductos derivados de la industria alimenticia, como cáscaras de granos de cacao, se han identificado micotoxinas como OTA y AFs. Esto sugiere que el producto principal también puede encontrarse contaminado, por lo que es importante su análisis previo a la producción, en este caso, de chocolates y productos a base de cacao (Lopes *et al.*, 2023).

La Tabla 3 refiere a otras investigaciones relevantes sobre la contaminación por micotoxinas en caramelos, productos de confitería y otros alimentos relacionados.

**Tabla 3.** Incidencia de micotoxinas en dulces, confitería y otros productos procesados

Alimento	Origen	Método de cuantificación	Micotoxina	Concentración (ppm)	Ref.
Dulce de cacahuete	Brazil	HPLC	AFB1 + AFB2 + AFG1 + AFG2	4.9	(Junior <i>et al.</i> , 2016)
Snacks callejeros a base de yuca, coco y maní	Nigeria	QuEChERS-HPLC-MS/MS	AFB1 AFB2 $\alpha$ -zearalenol	2-54	(Rubert <i>et al.</i> , 2013)
Dulce de cacahuete	Taiwan	LC/MS/MS	AFB1 AFB2 AFG1 AFG2	35.2 7.0 <0.2 0.8	(Chen <i>et al.</i> , 2016)
Datil deshidratadi	Egypt		AFB1 AFB2	14.4 2.44	(Abdallah <i>et al.</i> , 2018)
Chips de boniato	Tanzania	HPLC	AFB1 AFB2 AFG1 AFG2 FB1	21.23 19.4 10.38 15.37 44.69	(Amri & Lenoi, 2016)

ARTÍCULO EN PRENSA

## Métodos analíticos para la evaluación de micotoxinas

Reducir la contaminación por micotoxinas en los alimentos es un reto global importante que requiere numerosas medidas de defensa. Tanto en los alimentos como en los piensos, es crucial reducir los niveles de micotoxinas, tal como lo establece la normativa. Además, existe una necesidad apremiante de desarrollar y validar métodos analíticos eficaces para la detección de micotoxinas. Muchas de ellas son tóxicas incluso en concentraciones muy bajas, por lo que es esencial disponer de técnicas fiables y sensibles para su detección (Fernández-Cruz *et al.*, 2010).

Los métodos cromatográficos son los más utilizados para la determinación de micotoxinas (Shephard, 2016). En este sentido, la cromatografía en capa fina (TLC) fue la primera técnica cromatográfica empleada para el análisis específico de micotoxinas. En la actualidad, los análisis por cromatografía líquida (LC), como HPLC o UPLC, son métodos sensibles, selectivos, eficientes, confiables y robustos para identificar y cuantificar diversas micotoxinas de forma simultánea (Santos *et al.*, 2019). Los detectores fluorescentes o espectrométricos de masas se utilizan comúnmente (Alshannaq & Yu, 2017; Pereira *et al.*, 2014).

Aunque las técnicas cromatográficas tienen grandes ventajas, no son adecuadas para un análisis rápido *in situ* porque requieren personal calificado, aparatos costosos y un laboratorio con las condiciones requeridas. Además, presentan altos costos y el uso de sustancias nocivas y solventes (Man *et al.*, 2017). Por otro lado, la detección y cuantificación de micotoxinas mediante ELISA es el principal método analítico utilizado, ya que es menos costoso, requiere menos tiempo y es fácil de usar (de Cesare *et al.*, 2018; Dzman *et al.*, 2014; Soares *et al.*, 2014). Con la intención de que la industria alimentaria garantice el bienestar y la seguridad de los alimentos, la disponibilidad de otras técnicas sencillas, portátiles, rápidas, sensibles y económicas para la evaluación rápida de micotoxinas se está convirtiendo gradualmente en un gran desafío (Santos *et al.*, 2019).

Recientemente, el uso de sensores ha cobrado gran interés y se proyecta que superará las técnicas analíticas de rutina (Kirsch *et al.*, 2013; Stroka & Maragos, 2016). Los sensores que utilizan películas delgadas han surgido como técnicas efectivas para satisfacer diversas necesidades agrícolas. Sin embargo, métodos y técnicas tradicionales, como las buenas prácticas agrícolas, incluyen la implementación de programas de rotación de cultivos, el uso de herbicidas, fungicidas e insecticidas registrados, el análisis de las condiciones del suelo y la mejora genética para reducir la producción de micotoxinas. Estas estrategias son algunas de las alternativas de control disponibles en países en vías de desarrollo (Adebiyi *et al.*, 2019; Agriopoulou *et al.*, 2020; Alberts *et al.*, 2017).

Algunos métodos de descontaminación tradicionales y nuevos pueden incluir el tratamiento con radiación, el aislamiento térmico, el uso de plasma de baja temperatura, la alcoholólisis, la oxidación, la reducción y la hidrólisis (Lyagin & Efremenko, 2019). En comparación con los métodos de desintoxicación químicos y físicos, se ha demostrado que los enfoques orgánicos son altamente efectivos, muy específicos y amigables con el medio ambiente, mientras que las técnicas de desintoxicación inorgánica, química y física tienen varias restricciones, requieren demasiado tiempo y aparatos costosos, además de que también se produce pérdida de nutrientes (Agriopoulou *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2019).

El uso de la radiación para diversos cereales almacenados proporciona resultados prometedores. La radiación puede eliminar en cierta medida las micotoxinas de los alimentos y, además, reducir los microorganismos patógenos (Shanakhat *et al.*, 2018). Investigaciones previas mencionan el uso del ozono para eliminar numerosas micotoxinas (Alexandre *et al.*, 2019; Porto *et al.*, 2019).

## Legislación mundial sobre micotoxinas en productos de confitería y a base de cereales

Desde la Edad Media se han reportado brotes de micotoxicosis en todo el mundo (Peraica & Rašić, 2012). Sin embargo, tuvieron que pasar muchos años y un número considerable de muertes para que estas moléculas se estudiaran a fondo y se comenzara a establecer una regulación sobre su presencia en diferentes alimentos (Mazumder & Sasmal, 2001). En 1981, solo 33 países regulaban el contenido de micotoxinas, una cifra que aumentó a 100 en 2003, lo que indica que el

87 % de las agencias de seguridad alimentaria del mundo han establecido límites a la presencia de las principales micotoxinas en alimentos y piensos (Alshannaq & Yu, 2017). En el caso particular de la Agencia de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA), las micotoxinas están controladas desde 1969 (Alshannaq & Yu, 2017). Aunque es imposible evitar por completo la presencia de micotoxinas en los alimentos, las regulaciones establecidas a nivel mundial han hecho obligatorio reducir su concentración a los niveles más bajos posibles (Kaushik, 2015).

Cada país ha podido establecer sus propios límites regulatorios. Sin embargo, la tolerancia difiere entre ellos. En este sentido, han influido factores como las estrategias políticas, las características agronómicas de cada país y la industrialización (Magnussen & Parsi, 2013; Wagacha & Muthomi, 2008). Otro factor importante que influye en la regulación de las micotoxinas es la dieta de cada país. Por ejemplo, en países donde existe una dieta basada en maíz (400 g por persona/día), se deben establecer límites más bajos que en otros países, donde el consumo es menor (principalmente en países desarrollados, donde el consumo es de 10 g por persona/día o incluso menos) (van Egmond *et al.*, 2007). Además, la regulación de las micotoxinas es más estricta en los países desarrollados, ya que en los países en desarrollo existe una capacidad limitada para analizar los alimentos en busca de contaminación (Ayelign & De Saeger, 2020).

Debido a las graves consecuencias de su consumo, las micotoxinas más reguladas son las AF, la OTA, la FUM y los tricotecenos (DON y ZEA). Otras micotoxinas menos reguladas son la patulina, los alcaloides del cornezuelo y las toxinas HT-2 y T-1 (Logrieco *et al.*, 2018).

La aflatoxina es la micotoxina más regulada y se han establecido límites tolerados para AFB1, AFB2, AFG1, AFG2 y AFM1. Algunos países tienen tolerancia cero. Por ejemplo, Argentina a la AFB1 en alimentos infantiles; Bulgaria a la AFM1 en leche en polvo para alimentación infantil; República Dominicana a la AFB1 y AFG1 en maíz; Egipto a AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 en maíz, almidón y productos lácteos; México a AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 en piensos para ganado y aves de corral; Nigeria a AFB1 en alimentos infantiles; Polonia y Rumania a AFB1 en todos los alimentos; Rusia a AFB1 en productos lácteos; Singapur para todas las micotoxinas en todos los alimentos; San Vicente para AFB1 y AFG1 en maíz y sus productos; Trinidad y Tobago para todas las micotoxinas en helado; y Uruguay a AFB1 en mantequilla.

Por otro lado, otros países toleran hasta 50 ppb, como Barbados para AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 en todos los piensos; Brasil para AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 en harina de cacahuete; Chile para AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 en todos los piensos; China para AFB1 en maíz, torta de cacahuete y residuos de cacahuete; Colombia para AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 en alimentos para ganado; Costa Rica para AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 en maíz; Noruega para AFB1 en todos los alimentos; Rumania para AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 en todos los alimentos; Senegal para AFB1 en productos de maní; y Suecia para AFB1 en algunos alimentos. Los límites de aflatoxina se refieren tanto a una aflatoxina en específico como a la suma de AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 (Mazumder & Sasmal, 2001; Visser *et al.*, 2019).

En cuanto a las OTA, la cantidad tolerada varía de 2 ppb en Suiza para productos a base de cereales a 50 ppb en Uruguay para cereales, frijoles y café (Mitchell *et al.*, 2017). El DON ha sido regulado con cantidades permitidas que van desde 5 ppb en Rumanía para todos los alimentos hasta 10,000 ppb en los Estados Unidos para granos y subproductos de granos (Alshannaq & Yu, 2017; Ho & Vieira, 2007). Los límites de FUM van desde 100 ppb en Sudáfrica para maíz y productos de maíz hasta 50,000 ppb en alimentos para ganado vacuno y aves de corral en los Estados Unidos (Singh & Chuturgoon, 2017). Los países que regulan la mayor parte del contenido de micotoxinas son los Estados Unidos y la Unión Europea.

### **Regulación en México**

En México, la Secretaría de Salud ha emitido solo dos Normas Oficiales Mexicanas respecto a los límites máximos permitidos de micotoxinas en cereales para consumo humano y animal (NOM-188-SSA1-2002), y en cereales y sus productos, como cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas y alimentos procesados a base de cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas, así como productos de panificación (NOM-247-SSA1-2008). Cabe mencionar que en ambas normas solo se regula la presencia de aflatoxinas, descartando otras

micotoxinas de importancia médica, como las fumonisinas. Por ejemplo, la NOM-188-SSA1-2002 estipula que los cereales para consumo humano no deben exceder 20 µg/kg de aflatoxinas totales, mientras que para alimentación animal pueden presentarse hasta 300 µg/kg. Por otro lado, la NOM-247-SSA1-2008 especifica que el límite máximo de aflatoxinas totales en cereales, sémolas o semolinas no debe exceder 20 µg/kg, mientras que para harinas de maíz nixtamalizado no debe exceder 12 µg/kg. Además, menciona los métodos de análisis como HPLC y ELISA.

Existe un proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-217-SSA1-2002, la cual regula los productos de confitería, donde se menciona que semillas o nueces no deben contener más de 15 µg de aflatoxinas/kg de producto terminado. También destaca la NOM-186-SSA1/SCFI-2013, que regula el cacao, chocolate y productos similares y derivados del cacao, donde se menciona que no deben contener más de 15 µg de aflatoxinas/kg de producto terminado.

### Regulación en los Estados Unidos

La FDA regula el contenido de micotoxinas en alimentos, productos lácteos y piensos. La primera micotoxina regulada fue la AFB1. Por ejemplo, en el maíz y el arroz se permiten 10 ppb antes del procesamiento, y en otros cereales, como el trigo sarraceno y *Fagopyrum* spp., se permiten 4 ppb. Para el DON, en cereales sin procesar, como el trigo y la avena, y en subproductos como harinas de cereales, snacks (pan, galletas, bollería, etc.), pasta seca y alimentos infantiles a base de cereales, los límites máximos son de 1250, 1750, 1750, 750, 500, 750 y 200 ppb, respectivamente. Para FUM, el nivel máximo en maíz sin procesar, alimentos a base de maíz y alimentos a base de maíz para bebés y niños pequeños es de 4000, 1000, 800 y 200 ppb, respectivamente. El nivel máximo de OTA para cereales sin procesar y para productos a base de cereales es de 5 y 3 ppb, respectivamente. Finalmente, los niveles máximos de ZEA para maíz sin procesar, otros cereales sin procesar, harina de cereales, snacks a base de maíz, aceite de maíz, pasteles de cereales, alimentos procesados de maíz para bebés y niños pequeños, y otros alimentos procesados a base de cereales para bebés y niños pequeños, son 350, 100, 75, 100, 400, 50, 20 y 20 ppb respectivamente (Smith *et al.*, 2016).

### Regulación en la UE

En las últimas dos décadas, algunos países de Europa, especialmente los de la Unión Europea, han buscado armonizar los límites establecidos. Aunque en los años 70 la regulación se limitaba a los alimentos para animales, hoy en día se ha vuelto mucho más específica, abarcando los alimentos para bebés y niños pequeños (Cheli *et al.*, 2014). En la UE se ha creado un laboratorio comunitario de referencia para micotoxinas para coordinar las actividades relacionadas con la mejora, el desarrollo y la aplicación de la preparación de muestras y de los métodos de análisis de alimentos para la determinación de micotoxinas. La UE ha desarrollado proyectos como BioCop y MoniQA. El primer proyecto se centra en tecnologías alternativas a las técnicas cromatográficas para el análisis de contaminantes alimentarios, incluidas las micotoxinas. Estos métodos incluyen la proteómica, la transcriptómica y los biosensores para un mejor sistema de control y regulación. MoniQA tiene varios clústeres multidisciplinares; las micotoxinas son uno de ellos y también valida métodos y tecnología de detección (van Egmond *et al.*, 2007).

### Conclusiones

Las industrias de dulces, confitería y productos a base de cereales deben ser rigurosamente vigiladas y normalizadas con estándares de control y calidad de alimentos, ya que las materias primas son muy susceptibles a contaminaciones por hongos micotoxigénicos, lo que puede producir altas concentraciones de micotoxinas. En el presente trabajo se analizó la incidencia y la prevalencia de las micotoxinas más estudiadas en alimentos a nivel mundial, resaltando las concentraciones cuantificadas, los lugares de origen y el método de detección empleado. Además, se pudo discutir cuáles son los factores climáticos e intrínsecos de los alimentos que predisponen a ser colonizados por hongos y estos, a su vez, a la producción de micotoxinas. Posteriormente, se abordaron los

métodos más utilizados para la detección y cuantificación de micotoxinas en alimentos, destacando los métodos cromatográficos, inmunológicos y basados en biosensores. Estos métodos deben ser sensibles, reproducibles y robustos para lograr cuantificaciones del orden de nanogramos y microgramos. Por último, se abordaron las legislaciones internacionales y nacionales, con la finalidad de discutir y proponer nuevos límites máximos de residuos permitidos, así como la inclusión de un mayor número de alimentos regulados. La contaminación por micotoxinas, en especial aflatoxinas, que son toxinas cancerígenas, debe prevenirse desde el cultivo y la cosecha; sin embargo, para ello se deben implementar programas de educación y de buenas prácticas agrícolas para concientizar sobre este grave problema de salud pública.

### Contribución de los autores

“Conceptualización del trabajo, Jiménez-Ortega, L.A. y Heredia, J.B.; redacción y preparación del manuscrito, Jiménez-Ortega, L.A.; López-Romero, B. J.; Avilés-Gaxiola, S.; Das, G.; Kumar-Patra, J.; redacción, revisión y edición, Jiménez-Ortega, L.A. y Heredia, J. B. “Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.”

### Financiación

Esta investigación no recibió financiación externa

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### Referencias

- Abdallah, M. F., Krska, R., & Sulyok, M. (2018). Occurrence of ochratoxins, fumonisin B2, aflatoxins (B1 and B2), and other secondary fungal metabolites in dried date palm fruits from Egypt: a mini-survey. *Journal of Food Science*, 83(2), 559-564. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14046>
- Adaku-Chilaka, C., & Mally, A. (2020). Mycotoxin Occurrence, Exposure and Health Implications in Infants and Young Children in Sub-Saharan Africa: A Review. *Foods*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/foods9111585>
- Adebisi, J. A., Kayitesi, E., Adebo, O. A., Changwa, R., & Njobeh, P. B. (2019). Food fermentation and mycotoxin detoxification: An African perspective. *Food Control*, 106, 106731. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106731>
- Afsah-Hejri, L., Jinap, S., Hajeb, P., Radu, S., & Shakibazadeh, S. (2013). A review on mycotoxins in food and feed: Malaysia case study. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(6), 629-651. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12029>
- Agriopoulou, S., Stamatelopoulou, E., & Varzakas, T. (2020). Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: Prevention and detoxification in foods. *Foods*, 9(2), 137. <https://doi.org/10.3390/foods9020137>
- Ahmed Adam, M. A., Tabana, Y. M., Musa, K. B., & Sandai, D. A. (2017). Effects of different mycotoxins on humans, cell genome and their involvement in cancer (Review). *Oncology Reports*, 37(3), 1321-1336. <https://doi.org/10.3892/or.2017.5424>
- Alassane-Kpembé, I., Puel, O., Pinton, P., Cossalter, A. M., Chou, T. C., & Oswald, I. P. (2017). Co-exposure to low doses of the food contaminants deoxynivalenol and nivalenol has a synergistic inflammatory effect on intestinal explants. *Archives of Toxicology*, 91(7), 2677-2687. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1902-9>
- Alberts, J., Lilly, M., Rheeder, J., Burger, H.-M., Shephard, G. S., & Gelderblom, W. (2017). Technological and community-based methods to reduce mycotoxin exposure. *Food Control*, 73, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.029>
- Alexandre, A. P. S., Castanha, N., Costa, N. S., Santos, A. S., Badiale-Furlong, E., Augusto, P. E. D., & Calori-Domingues, M. A. (2019). Ozone technology to reduce zearalenone contamination in whole maize flour: Degradation kinetics and impact on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(15), 6814-6821. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9966>
- Alshannaq, A., & Yu, J.-H. (2017). Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food. *International journal of environmental research and public health*, 14(6), 632. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060632>
- Amri, E., & Lenoi, S. o. (2016). Aflatoxin and fumonisin contamination of sun-dried sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) chips in Kahama district, Tanzania. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.12691/jaem-4-3-2>
- Andrade, P. D., Dias, J. V., Souza, D. M., Brito, A. P., van Donkersgoed, G., Pizzutti, I. R., & Caldas, E. D. (2020). Mycotoxins in cereals and cereal-based products: Incidence and probabilistic dietary risk assessment for the Brazilian population. *Food and Chemical Toxicology*, 143, 111572. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111572>

- Arce-López, B., Lizarraga, E., López de Mesa, R., & González-Peñas, E. (2021). Assessment of Exposure to Mycotoxins in Spanish Children through the Analysis of Their Levels in Plasma Samples. *Toxins*, 13(2), 150. <https://doi.org/10.3390/toxins13020150>
- Arrúa, A. A., Mendes, J. M., Arrúa, P., Ferreira, F. P., Caballero, G., Cazal, C.,... Fernández Ríos, D. (2019). Occurrence of Deoxynivalenol and Ochratoxin A in Beers and Wines Commercialized in Paraguay. *Toxins*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/toxins11060308>
- Ayelnig, A., & De Saeger, S. (2020). Mycotoxins in Ethiopia: Current status, implications to food safety and mitigation strategies. *Food Control*, 113, 107163. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107163>
- Ayeni, K. I., Sulyok, M., Krska, R., Warth, B., & Ezekiel, C. N. (2023). Mycotoxins in complementary foods consumed by infants and young children within the first 18 months of life. *Food Control*, 144, 109328. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109328>
- Azam, M., Ahmed, S., Islam, M., Maitra, P., & Yu, D. (2021). Critical Assessment of Mycotoxins in Beverages and Their Control Measures. *Toxins*, 13(5), 323. <https://doi.org/10.3390/toxins13050323>
- Bbosa, G. S., Kitya, D., Lubega, A., Ogwal-Okeng, J., Anokbonggo, W. W., & Kyegombe, D. B. (2013). Review of the Biological and Health Effects of Aflatoxins on Body Organs and Body Systems. In R.-A. M (Ed.), *Aflatoxins - Recent Advances and Future Prospects*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5772/51201>
- Bezerra da Rocha, M. E., Oliveira, F., Francisco da Chagas, Feitosa, M. F. E., Florindo, G. M. I., & Rondina, D. (2014). Mycotoxins and Their Effects on Human and Animal Health. *Food Control*, 36(1), 159-165. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.021>
- Binder, E., Tan, L., Chin, L., Handl, J., & Richard, J. (2007). Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients. *Animal Feed Science and Technology*, 137(3-4), 265-282. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.005>
- Blankson, G. K., & Mill-Robertson, F. C. (2016). Aflatoxin contamination and exposure in processed cereal-based complementary foods for infants and young children in Greater Accra, Ghana. *Food Control*, 64, 212-217. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.12.032>
- Boevre, M., Diana Di Mavungu, J., Landschoot, S., Audenaert, K., Eeckhout, M., Maene, P.,... Saeger, S. (2012). Natural occurrence of mycotoxins and their masked forms in food and feed products. *World Mycotoxin Journal*, 5, 207-219. <https://doi.org/10.3920/WMJ2012.1410>
- Braun, M. S., & Wink, M. (2018). Exposure, occurrence, and chemistry of fumonisins and their cryptic derivatives. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17(3), 769-791. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12334>
- Brera, C., Debegnach, F., De Santis, B., Iafrate, E., Pannunzi, E., Berdini, C.,... Miraglia, M. (2011). Ochratoxin A in cocoa and chocolate products from the Italian market: occurrence and exposure assessment. *Food Control*, 22(10), 1663-1667. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.03.026>
- Cabrera-Meraz, J., Maldonado, L., Bianchini, A., & Espinal, R. (2021). Incidence of aflatoxins and fumonisins in grain, masa and corn tortillas in four municipalities in the department of Lempira, Honduras. *Heliyon*, 7(12), e08506. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08506>
- Cendoya, E., del Pilar Monge, M., Chiacchiera, S. M., Farnochi, M. C., & Ramirez, M. L. (2018). Influence of water activity and temperature on growth and fumonisin production by *Fusarium proliferatum* strains on irradiated wheat grains. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.001>
- Cheli, F., Battaglia, D., Gallo, R., & Dell'Orto, V. (2014). EU legislation on cereal safety: An update with a focus on mycotoxins. *Food Control*, 37, 315-325. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.09.059>
- Chen, L., Wu, J., Zhang, S., Liu, X., Zhao, M., Guo, W., Zhang, J., Chen, W., Liu, Z., Deng, M., & Wu, Q. (2025). Occurrence and Diversity of Fungi and Their Mycotoxin Production in Common Edible and Medicinal Substances from China. *Journal of Fungi*, 11(3), 212. <https://doi.org/10.3390/jof11030212>
- Chen, M.-T., Hsu, Y.-H., Wang, T.-S., & Chien, S.-W. (2016). Mycotoxin Monitoring for Commercial Foodstuffs in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24(1), 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.06.002>
- Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Nester, M. A., Efraim, P., & Taniwaki, M. H. (2013). Occurrence of ochratoxin A in cocoa by-products and determination of its reduction during chocolate manufacture. *Food Chemistry*, 136(1), 100-104. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.093>
- Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Pitt, J. I., & Taniwaki, M. H. (2014). Fungi and mycotoxins in cocoa: From farm to chocolate. *International Journal of Food Microbiology*, 178, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.023>
- Copetti, M. V., Pereira, J. L., Iamanaka, B. T., Pitt, J. I., & Taniwaki, M. H. (2010). Ochratoxigenic fungi and ochratoxin A in cocoa during farm processing. *International Journal of Food Microbiology*, 143(1-2), 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.07.031>
- da Silva, A.R., Pomini, T.M., Cancian, M.A.Q., Ono, E.Y.S., Maciel, L.F., & Hirooka, .Y. (2024). Aflatoxin and microbial safety in commercial confectionery peanut paçoca produced in São Paulo state – Brazil. *Food Control*, 164, 110576. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110576>
- de Cesare, G., Nascetti, A., Scipinotti, R., Fanelli, C., Ricelli, A., & Caputo, D. (2018). Optoelectronic system for mycotoxin detection in food quality control. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 8(7), 1195-1202. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2018.2823868>
- De Girolamo, A., Lattanzio, V. M., Schena, R., Visconti, A., & Pascale, M. (2014). Use of liquid chromatography-high-resolution mass spectrometry for isolation and characterization of hydrolyzed fumonisins and relevant analysis in maize-based products. *Journal of Mass Spectrometry*, 49(4), 297-305. <https://doi.org/10.1002/jms.3342>
- De Santis, B., Brera, C., Mezzelani, A., Soricelli, S., Ciceri, F., Moretti, G., . . . Raggi, M. E. (2019). Role of mycotoxins in the pathobiology of autism: A first evidence. *Nutritional Neuroscience*, 22(2), 132-144. <https://doi.org/10.1080/1028415x.2017.1357793>

- Di Salvo, E., Bartolomeo, G., Vadala, R., Costa, R., & Cicero, N. (2025). Mycotoxins in Ready-to-Eat Foods: Regulatory Challenges and Modern Detection Methods. *Toxics*, 13(6), 485. <https://doi.org/10.3390/toxics13060485>
- Dzuman, Z., Vaclavikova, M., Polisenka, I., Veprikova, Z., Fenclova, M., Zachariasova, M., & Hajslova, J. (2014). Enzyme-linked immunosorbent assay in analysis of deoxynivalenol: investigation of the impact of sample matrix on results accuracy. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 406(2), 505-514. <https://doi.org/10.1007/s00216-013-7463-3>
- El-Sayed, R. A., Jebur, A. B., Kang, W., & El-Demerdash, F. M. (2022). An overview of the major mycotoxins in food products: characteristics, toxicity, and analysis. *Journal of Future Foods*, 2(2), 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.03.002>
- Embaby, E., Reda, M., Abdel-Wahhab, M. A., Omara, H., & Mokabel, A. M. (2013). Occurrence of toxigenic fungi and mycotoxins in some legume seeds. *Journal of Agricultural Technology*, 9(1), 151-164.
- FAO, Organization, W. H., & Additives, W. E. C. o. F. (2017). *Evaluation of certain contaminants in food: eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. World Health Organization.
- Fernández-Cruz, M. L., Mansilla, M. L., & Tadeo, J. L. (2010). Mycotoxins in fruits and their processed products: Analysis, occurrence and health implications. *Journal of Advanced Research*, 1(2), 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2010.03.002>
- Flores-Flores, M. E., Lizarraga, E., López de Cerain, A., & González-Peñas, E. (2015). Presence of mycotoxins in animal milk: A review. *Food Control*, 53, 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.020>
- Gacem, M. A., Gacem, H., Telli, A., & Khelil, A. O. E. H. (2020). Mycotoxins: Decontamination and nanocontrol methods. In *Nanomycotoxicology* (pp. 189-216). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817998-7.00008-2>
- Grahovac, J., & Rončević, Z. (2021). Chapter 9 - Environmental impacts of the confectionary industry. In C. M. Galanakis (Ed.), *Environmental Impact of Agro-Food Industry and Food Consumption* (pp. 189-216). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821363-6.00012-6>
- Greeff-Laubscher, M. R., Beukes, I., Marais, G. J., & Jacobs, K. (2020). Mycotoxin production by three different toxigenic fungi genera on formulated abalone feed and the effect of an aquatic environment on fumonisins. *Mycology*, 11(2), 105-117. <https://doi.org/10.1080/21501203.2019.1604575>
- Groopman, J. D., Egner, P. A., Schulze, K. J., Wu, L. S.-F., Merrill, R., Mehra, S., . . . Gernand, A. (2014). Aflatoxin exposure during the first 1000 days of life in rural South Asia assessed by aflatoxin B1-lysine albumin biomarkers. *Food and Chemical Toxicology*, 74, 184-189. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.09.016>
- Groopman, J. D., & Wogan, G. N. (2016). Aflatoxin: A Global Public Health Problem. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 68-72). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00015-5>
- Hassan, Z.-u., Al-Thani, R., Migheli, Q., & Jaoua, S. (2017). Detection of toxigenic mycobiota and mycotoxins in cereal feed market. *Food Control*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.032>
- Hassan, Z., Thani, R., F., A., Meer, S., Migheli, Q., & Jaoua, S. (2018). Co-occurrence of mycotoxins in commercial formula milk and cereal-based baby food on the Qatar market. *Food Additives & Contaminants: Part B Surveillance*, 11(3), 191-197. <https://doi.org/10.1080/19393210.2018.1437785>
- Herrera, M., van Dam, R., Spanjer, M., de Stoppelaar, J., Mol, H., de Nijs, M., & López, P. (2017). Survey of moniliformin in wheat- and corn-based products using a straightforward analytical method. *Mycotoxin Research*, 33(4), 333-341. <https://doi.org/10.1007/s12550-017-0287-9>
- Hickert, S., Bergmann, M., Ersen, S., Cramer, B., & Humpf, H. U. (2016). Survey of Alternaria toxin contamination in food from the German market, using a rapid HPLC-MS/MS approach. *Mycotoxin Research*, 32(1), 7-18. <https://doi.org/10.1007/s12550-015-0233-7>
- Ho, P., & Vieira, M. M. C. (2007). *Case studies in food safety and environmental health* (Vol. 6). Springer Science & Business Media.
- Iha, M. H., Mini, C. A., Okada, I. A., de Cássia Briganti, R., & Trucksess, M. W. (2017). The use of regenerated immunoaffinity columns for aflatoxins B1, B2, G1 and G2 in peanut confection. *Journal of Chromatography A*, 1483, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.12.040>
- Iqbal, S. Z., Rabbani, T., Asi, M. R., & Jinap, S. (2014). Assessment of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in breakfast cereals. *Food Chemistry*, 157, 257-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.129>
- Jacobsen, B. J. (2014). Good agricultural and harvest practices to reduce mycotoxin contamination in wheat in temperate countries. *Mycotoxin Reduction in Grain Chains*, 209. <https://doi.org/10.1002/9781118832790.ch14>
- Janik, E., Niemcewicz, M., Podogrocki, M., Ceremuga, M., Gorniak, L., Stela, M., & Bijak, M. (2021). The Existing Methods and Novel Approaches in Mycotoxins' Detection. *Molecules*, 26(13). <https://doi.org/10.3390/molecules26133981>
- Ji, X., Xiao, Y., Wang, W., Lyu, W., Wang, X., Li, Y., . . . Yang, H. (2022). Mycotoxins in cereal-based infant foods marketed in China: Occurrence and risk assessment. *Food Control*, 138, 108998. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108998>
- Jiang, D., Chen, J., Li, F., Li, W., Yu, L., Zheng, F., & Wang, X. (2018). Deoxynivalenol and its acetyl derivatives in bread and biscuits in Shandong province of China. *Food Additives & Contaminants Part B Surveillance*, 11(1), 43-48. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1402824>
- Jimenez, M., Manez, M., & Hernandez, E. (1996). Influence of water activity and temperature on the production of zearalenone in corn by three *Fusarium* species. *International Journal of Food Microbiology*, 29(2-3), 417-421. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(95\)00073-9](https://doi.org/10.1016/0168-1605(95)00073-9)
- Jiménez-Ortega, L.A., Cuevas-Sánchez, B.Y., Patricio-Martínez, S., Albarrán-Rodríguez, E., González-Zamora, L.F., Reyes-Velazquez, W.P. (2021). Determinación de aflatoxinas totales (AFs) y AFB<sub>1</sub> en dulces tipo "mazapán" de cacahuete y nuez comercializados en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco. *E-CUCBA* (15), 21–32. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.v0i15.176>

- Junior, W. L., Trombete, F., Reis, L., Direito, G., Randow, A., & Saldanha, T. (2016). Aflatoxins intake from peanut candy marketed in Rio de Janeiro city, Brazil. *International Food Research Journal*, 23(2), 733.
- Kamle, M., Mahato, D. K., Devi, S., Lee, K. E., Kang, S. G., & Kumar, P. (2019). Fumonisin: Impact on Agriculture, Food, and Human Health and Their Management Strategies. *Toxins*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/toxins11060328>
- Karlovsky, P., Suman, M., Berthiller, F., De Meester, J., Eisenbrand, G., Perrin, I., . . . Recker, T. (2016). Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Research*, 32(4), 179-205. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0257-7>
- Kaushik, G. (2015). Effect of processing on mycotoxin content in grains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(12), 1672-1683. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.701254>
- Khodaei, D., Javanmardi, F., & Khaneghah, A. M. (2021). The global overview of the occurrence of mycotoxins in cereals: a three-year survey. *Current Opinion in Food Science*, 39, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.012>
- Kirsch, J., Siltanen, C., Zhou, Q., Revzin, A., & Simonian, A. (2013). Biosensor technology: recent advances in threat agent detection and medicine. *Chemical Society Reviews*, 42(22), 8733-8768. <https://doi.org/10.1039/C3CS60141B>
- Lasram, S., Oueslati, S., Valero, A., Marin, S., Ghorbel, A., & Sanchis, V. (2010). Water activity and temperature effects on fungal growth and ochratoxin A production by ochratoxigenic *Aspergillus carbonarius* isolated from Tunisian grapes. *Journal of Food Science*, 75(2), M89-M97. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01484.x>
- Li, R., Wang, X., Zhou, T., Yang, D., Wang, Q., & Zhou, Y. (2014). Occurrence of four mycotoxins in cereal and oil products in Yangtze Delta region of China and their food safety risks. *Food Control*, 35(1), 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.042>
- Liu, J., Sun, L., Zhang, N., Zhang, J., Guo, J., Li, C., . . . Qi, D. (2016). Effects of nutrients in substrates of different grains on aflatoxin B1 production by *Aspergillus flavus*. *BioMed Research International*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7232858>
- Logrieco, A. F., Miller, J. D., Eskola, M., Krska, R., Ayalew, A., Bandyopadhyay, R., . . . De Saeger, S. (2018). The mycotoxin charter: increasing awareness of, and concerted action for, minimizing mycotoxin exposure worldwide. *Toxins*, 10(4), 149. <https://doi.org/10.3390/toxins10040149>
- Lopes, P., Sobral, M.M.C., Lopes, G.R., Martins, Z.E., Passos, C.P., Petronilho, S., & Ferreira, I. M.P.L.V.O. (2023). Mycotoxins' Prevalence in Food Industry By-Products: A Systematic Review. *Toxins*, 15(4), 249. <https://doi.org/10.3390/toxins15040249>
- Luo, S., Du, H., Kebede, H., Liu, Y., & Xing, F. (2021). Contamination status of major mycotoxins in agricultural products and foodstuffs in Europe. *Food Control*, 127, 108120. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108120>
- Lyagin, I., & Efremenko, E. (2019). Enzymes for detoxification of various mycotoxins: Origins and mechanisms of catalytic action. *Molecules*, 24(13), 2362. <https://doi.org/10.3390/molecules24132362>
- Mafe, A. N., & Busselberg, D. (2025). Mycotoxins in Food: Cancer Risks and Strategies for Control. *Foods*, 12(21), 3502. <https://doi.org/10.3390/foods13213502>
- Magan, N., & Aldred, D. (2007). Post-harvest control strategies: minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1-2), 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.034>
- Magan, N., Medina, A., & Aldred, D. (2011). Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre- and postharvest. *Plant Pathology*, 60(1), 150-163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02412.x>
- Magnussen, A., & Parsi, M. A. (2013). Aflatoxins, hepatocellular carcinoma and public health. *World Journal of Gastroenterology: WJG*, 19(10), 1508. <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i10.1508>
- Majeed, M., Kadmi, Y., Khan, M., & Shariati, M. A. (2017). Assessment of Ochratoxin A in Commercial Corn and Wheat Products. *Current Nutrition & Food Science*. <https://doi.org/10.2174/1573401313666170330155823>
- Man, Y., Liang, G., Li, A., & Pan, L. (2017). Recent advances in mycotoxin determination for food monitoring via microchip. *Toxins*, 9(10), 324. <https://doi.org/10.3390/toxins9100324>
- Mannaa, M., & Kim, K. D. (2017). Influence of temperature and water activity on deleterious fungi and mycotoxin production during grain storage. *Mycobiology*, 45(4), 240-254. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.4.240>
- Martins, C., Assunção, R., Cunha, S. C., Fernandes, J. O., Jager, A., Petta, T., . . . Alvito, P. (2018). Assessment of Multiple Mycotoxins in Breakfast Cereals Available in the Portuguese Market. *Food Chemistry*, 239, 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.088>
- Matumba, L., Namaumbo, S., Ngoma, T., Meleke, N., De Boevre, M., Logrieco, A. F., & De Saeger, S. (2021). Five keys to prevention and control of mycotoxins in grains: A proposal. *Global Food Security*, 30, 100562. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100562>
- Mazumder, P. M., & Sasmal, D. (2001). Mycotoxins—limits and regulations. *Ancient science of life*, 20(3), 1.
- Meerpoel, C., Vidal, A., Andjelkovic, M., De Boevre, M., Tangni, E. K., Huybrechts, B., . . . De Saeger, S. (2021). Dietary exposure assessment and risk characterization of citrinin and ochratoxin A in Belgium. *Food and Chemical Toxicology*, 147, 111914. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111914>
- Milani, J. (2013). Ecological conditions affecting mycotoxin production in cereals: a review. *Veterinari Medicina*, 58(8). <https://doi.org/10.17221/6979-VETMED>
- Miličević, D., Nastasijević, I., & Petrovic, Z. (2016). Mycotoxin in the food supply chain—implications for public health programs. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 34(4), 293-319. <https://doi.org/10.1080/10590501.2016.1236607>
- Miliordos, D.E., Baliota, G.V., Athanassiou, C.G., & Natskoulis. (2025). Review on the Occurrence of Mycotoxigenic Fungi in Dried Fruits and the Role of Stored-Product Insects. *Toxins*, 17(7), 313. <https://doi.org/10.3390/toxins17070313>
- Mitchell, N. J., Chen, C., Palumbo, J. D., Bianchini, A., Cappozzo, J., Stratton, J., . . . Wu, F. (2017). A risk assessment of dietary Ochratoxin A in the United States. *Food and Chemical Toxicology*, 100, 265-273. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.12.037>

- Molina-Pintor, I. B., Ruíz-Arias, M. A., Guerrero-Flores, M. C., Rojas-García, A. E., Barrón-Vivanco, B. S., Medina-Díaz, I. M., . . . González-Arias, C. A. (2021). Preliminary survey of the occurrence of mycotoxins in cereals and estimated exposure in a northwestern region of Mexico. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1953447>
- Mollay, C., Kimanya, M., Kassim, N., & Stoltzfus, R. (2022). Main complementary food ingredients contributing to aflatoxin exposure to infants and young children in Kongwa, Tanzania. *Food Control*, 135, 108709. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108709>
- Mousavi-Khaneghah, A., Eş, I., Raeisi, S., & Fakhri, Y. (2018). Aflatoxins in cereals: State of the art. *Journal of Food Safety*, 38(6), e12532. <https://doi.org/10.1111/jfs.12532>
- Mupunga, I., Mngqawa, P., & Katerere, D. R. (2017). Peanuts, Aflatoxins and Undernutrition in Children in Sub-Saharan Africa. *Nutrients*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/nu9121287>
- Naz, N., Kashif, A., Kanwal, K., & Ajaz, H. (2017). Incidence of mycotoxins in local and branded samples of chocolates marketed in Pakistan. *Journal of Food Quality*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1947871>
- Niens, C., Strack, M., & Marggraf, R. (2014). Parental risk perception of mycotoxins and risk reduction behaviour. *British Food Journal*, 116(6), 1014-1030. <https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2012-0260>
- Norma Oficial Mexicana. (2009). NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009#gsc.tab=0)
- Norma Oficial Mexicana. (2002). NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias. <https://salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/188ssa12.html>
- Norma Oficial Mexicana. (2022). PROYECTO de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-217-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos de confitería. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=691942&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691942&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0)
- Norma Oficial Mexicana. (2013). NOM-186-SSA1/SCFI-2013, Cacao, chocolate y productos similares, y derivados del cacao. Especificaciones sanitarias. Denominación comercial. Métodos de prueba. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5332832&fecha=17/02/2014#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5332832&fecha=17/02/2014#gsc.tab=0)
- Noroozi, R., Kobarfard, F., Rezaei, M., Ayatollahi, S. A., Paimard, G., Eslamizad, S., . . . Sadeghi, E. (2022). Occurrence and exposure assessment of aflatoxin B1 in Iranian breads and wheat-based products considering effects of traditional processing. *Food Control*, 138, 108985. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108985>
- Ojuri, O. T., Ezekiel, C. N., Eskola, M. K., Šarkanj, B., Babalola, A. D., Sulyok, M., . . . Krska, R. (2019). Mycotoxin co-exposures in infants and young children consuming household- and industrially-processed complementary foods in Nigeria and risk management advice. *Food Control*, 98, 312-322. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.049>
- Omotayo, O. P., Omotayo, A. O., Mwanza, M., & Babalola, O. O. (2019). Prevalence of mycotoxins and their consequences on human health. *Toxicological research*, 35(1), 1-7. <https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>
- Onyeke, C. C. (2020). Review of mycotoxins in foods in Nigeria. *Food Control*, 118, 107376. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107376>
- Ostry, V., Malir, F., Toman, J., & Grosse, Y. (2017). Mycotoxins as human carcinogens—the IARC Monographs classification. *Mycotoxin research*, 33(1), 65-73. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0265-7>
- Oueslati, S. (2020). Multiple Mycotoxin Determination on Tunisian Cereals-Based Food and Evaluation of the Population Exposure. *Food analytical methods* 13(6), 1271-1281-2020. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01737-z>
- Peraica, M., & Rašić, D. (2012). The impact of mycotoxicoses on human history. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 63(4). <https://doi.org/10.2478/10004-1254-63-2012-2259>
- Peraica, M., Richter, D., & Rašić, D. (2014). Mycotoxicoses in children. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 65, 347-363. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-65-2014-2557>
- Pereira, V., Fernandes, J., & Cunha, S. (2014). Mycotoxins in cereals and related foodstuffs: A review on occurrence and recent methods of analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 36(2), 96-136. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.005>
- Ponce-García, N., Serna-Saldivar, S. O., & Garcia-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. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1502476>
- Porto, Y. D., Trombete, F. M., Freitas-Silva, O., De Castro, I. M., Direito, G. M., & Ascheri, J. L. R. (2019). Gaseous ozonation to reduce aflatoxins levels and microbial contamination in corn grits. *Microorganisms*, 7(8), 220. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7080220>
- Pralatnet, S., Poapolathep, S., Giorgi, M., Imsilp, K., Kumagai, S., & Poapolathep, A. (2016). Survey of Deoxynivalenol and Aflatoxin B1 in Instant Noodles and Bread Consumed in Thailand by Using Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Food Protection*, 79, 1269-1272. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-510>
- Quiles, J. M., Saladino, F., Mañes, J., Fernández-Franzón, M., & Meca, G. (2016). Occurrence of mycotoxins in refrigerated pizza dough and risk assessment of exposure for the Spanish population. *Food and Chemical Toxicology*, 94, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.05.011>
- Ramirez, M. L., Chulze, S., & Magan, N. (2006). Temperature and water activity effects on growth and temporal deoxynivalenol production by two Argentinean strains of *Fusarium graminearum* on irradiated wheat grain. *International Journal of Food Microbiology*, 106(3), 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.09.004>
- Reddy, K., Salleh, B., Saad, B., Abbas, H., Abel, C., & Shier, W. (2010). An overview of mycotoxin contamination in foods and its implications for human health. *Toxin reviews*, 29(1), 3-26. <https://doi.org/10.3109/15569541003598553>
- Ritter, A. C., Hoeltz, M., & Noll, I. B. (2011). Toxicogenic potential of *Aspergillus flavus* tested in different culture conditions. *Food Science and Technology*, 31(3), 623-628. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000300011>

- Rubert, J., Fapohunda, S., Soler, C., Ezekiel, C., Mañes, J., & Kayode, F. (2013). A survey of mycotoxins in random street-vended snacks from Lagos, Nigeria, using QuEChERS-HPLC-MS/MS. *Food Control*, 32(2), 673-677. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.01.017>
- Saladino, F., Quiles, J. M., Mañes, J., Fernández-Franzón, M., Luciano, F. B., & Meca, G. (2017). Dietary exposure to mycotoxins through the consumption of commercial bread loaf in Valencia, Spain. *LWT*, 75, 697-701. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.029>
- Sánchez-Hervás, M., Gil, J., Bisbal, F., Ramón, D., & Martínez-Culebras, P. (2008). Mycobiota and mycotoxin producing fungi from cocoa beans. *International Journal of Food Microbiology*, 125(3), 336-340. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.021>
- Santos, A. O., Vaz, A., Rodrigues, P., Veloso, A. C., Venâncio, A., & Peres, A. M. (2019). Thin films sensor devices for mycotoxins detection in foods: Applications and challenges. *Chemosensors*, 7(1), 3. <https://doi.org/10.3390/chemosensors7010003>
- Sarmast, E., Fallah, A. A., Jafari, T., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). Occurrence and fate of mycotoxins in cereals and cereal-based products: a narrative review of systematic reviews and meta-analyses studies. *Current Opinion in Food Science*, 39, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.013>
- Savi, G. D., Piacentini, K. C., Tibola, C. S., Santos, K., Sousa Maria, G., & Scussel, V. M. (2016). Deoxynivalenol in the wheat milling process and wheat-based products and daily intake estimates for the Southern Brazilian population. *Food Control*, 62, 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.10.029>
- Shanakhath, H., Sorrentino, A., Raiola, A., Romano, A., Masi, P., & Cavella, S. (2018). Current methods for mycotoxins analysis and innovative strategies for their reduction in cereals: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4003-4013. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8933>
- Shephard, G. S. (2016). Current status of mycotoxin analysis: a critical review. *Journal of AOAC International*, 99(4), 842-848. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.16-0111>
- Shirima, C. P., Kimanya, M. E., Routledge, M. N., Srey, C., Kinabo, J. L., Humpf, H.-U., ... Gong, Y. Y. (2015). A prospective study of growth and biomarkers of exposure to aflatoxin and fumonisin during early childhood in Tanzania. *Environmental Health Perspectives*, 123(2), 173-178. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408097>
- Shkemi, X., Svobodova, M., Skouridou, V., Bashammakh, A. S., Alyoubi, A. O., & O'Sullivan, C. K. (2022). Aptasensors for mycotoxin detection: A review. *Analytical Biochemistry*, 644, 114156. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2021.114156>
- Singh, S. D., & Chaturgoon, A. A. (2017). A comparison of mycotoxin contamination of premium and grocery brands of pelleted cat food in South Africa. *Journal of the South African Veterinary Association*, 88(1), 1-6. [10.4102/jsava.v88i0.1480](https://doi.org/10.4102/jsava.v88i0.1480)
- Smith, M.-C., Madec, S., Coton, E., & Hymery, N. (2016). Natural co-occurrence of mycotoxins in foods and feeds and their *in vitro* combined toxicological effects. *Toxins*, 8(4), 94. <https://doi.org/10.3390/toxins8040094>
- Soares, R., Novo, P., Azevedo, A., Fernandes, P., Chu, V., Conde, J., & Aires-Barros, M. (2014). Aqueous two-phase systems for enhancing immunoassay sensitivity: Simultaneous concentration of mycotoxins and neutralization of matrix interference. *Journal of Chromatography A*, 1361, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.08.007>
- Souza, G. F. d., Mossini, S. A. G., Arrotéia, C. C., Kemmelmeier, C., & Machinski Junior, M. (2014). Evaluation of the mycoflora and aflatoxins from the pre-harvest to storage of peanuts: a case study. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 36(1), 27-33. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i1.16972>
- Stanciu, O., Juan, C., Miere, D., Loghin, F., & Mañes, J. (2017). Analysis of enniatins and beauvericin by LC-MS/MS in wheat-based products. *CyTA - Journal of Food*, 15(3), 433-440. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1288661>
- Stroka, J., & Maragos, C. (2016). Challenges in the analysis of multiple mycotoxins. *World Mycotoxin Journal*, 9(5), 847-861. <https://doi.org/10.3920/WMJ2016.2038>
- Taborda, B., Santos, A. P. M., Costa, M. T., Mendes, M. M., Lopes de Andrade, V., & Mateus, L. (2022). Contribution of cereals and cows' milk consumption to the exposure to mycotoxins: a study with Portuguese children. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 39(3), 588-598. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.2010811>
- Taheur, F. B., Kouidhi, B., Al Qurashi, Y. M. A., Salah-Abbès, J. B., & Chaieb, K. (2019). Biotechnology of mycotoxins detoxification using microorganisms and enzymes. *Toxicon*, 160, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.02.001>
- Tola, M., & Kebede, B. (2016). Occurrence, importance and control of mycotoxins: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1191103. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1191103>
- Van der Fels-Klerx, H., Liu, C., & Battilani, P. (2016). Modelling climate change impacts on mycotoxin contamination. *World Mycotoxin Journal*, 9(5), 717-726. <https://doi.org/10.3920/WMJ2016.2066>
- van Egmond, H. P., Schothorst, R. C., & Jonker, M. A. (2007). Regulations relating to mycotoxins in food. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 389(1), 147-157. <https://doi.org/10.1007/s00216-007-1317-9>
- Vartolomei, A., Vlase, L., Cuciureanu, M., Cuciureanu, R., & Popa, D.-S. (2014). Determination of ochratoxin a in food by LC-MS/MS. *Farmacia*, 62, 287-298.
- Venturini, G., Assante, G., & Vercesi, A. (2011). Fusarium verticillioides contamination patterns in Northern Italian maize during the growing season. *Phytopathologia Mediterranea*, 50(1), 110-120. [https://doi.org/10.14601/Phytopathol\\_Mediterr-8680](https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-8680)
- Visser, M. E., Ezekiel, C. N., Schoonees, A., Esterhuizen, T. M., Randall, N., & Naude, C. E. (2019). Agricultural and nutritional educational interventions for reducing aflatoxin exposure to improve infant and child growth in low-and middle-income countries. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019(7). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013376.pub2>
- Wagacha, J., & Muthomi, J. (2008). Mycotoxin problem in Africa: current status, implications to food safety and health and possible management strategies. *International Journal of Food Microbiology*, 124(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.01.008>

- Wall Martínez, H., Alejandra, R.-M., Wesolek, N., Brabet, C., Noel, D., Rodríguez-Jimenes, G., . . . Roudot, A.-C. (2019). Risk assessment of exposure to mycotoxins (aflatoxins and fumonisins) through corn tortilla intake in Veracruz City (Mexico). *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36, 1-11. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1588997>
- Wan, J., Chen, B., & Rao, J. (2020). Occurrence and preventive strategies to control mycotoxins in cereal-based food. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 19. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12546>
- Wang, L., Wu, J., Liu, Z., Shi, Y., Liu, J., Xu, X., . . . Deng, Y. (2019). Aflatoxin B1 degradation and detoxification by *Escherichia coli* CG1061 isolated from chicken cecum. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 1548. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01548>
- Wang, X. (2020). The degradation of *Alternaria* mycotoxins by dielectric barrier discharge cold plasma. *Food Control*, v. 117, pp. 107333--102020 v.107117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107333>
- Wawrzyniak, J., & Waśkiewicz, A. (2014). Ochratoxin A and citrinin production by *Penicillium verrucosum* on cereal solid substrates. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(1), 139-148. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.861933>
- Wild, C., Miller, J., & Groopman, J. (2015). Effects of aflatoxins on aflatoxicosis and liver cancer. *Mycotoxin Control in Low- and Middle-Income Countries. International Agency for Research on Cancer*.
- Winter, G., & Pereg, L. (2019). A review on the relation between soil and mycotoxins: Effect of aflatoxin on field, food and finance. *European Journal of Soil Science*, 70(4), 882-897. <https://doi.org/10.1111/ejss.12813>
- Wright, C. M. (2017). Uses and abuses of snack foods in child health. *Archives of disease in childhood - Education & Practice Edition*, 102(6), 293. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-313471>
- Wu, F., Bhatnagar, D., Bui-Klimke, T., Carbone, I., Hellmich, R., Munkvold, G., . . . Takle, E. (2011). Climate change impacts on mycotoxin risks in US maize. *World Mycotoxin Journal*, 4(1), 79-93. <https://doi.org/10.3920/WMJ2010.1246>
- Wu, F., & Mitchell, N. (2016). How climate change and regulations can affect the economics of mycotoxins. *World Mycotoxin Journal*, 9(5), 653-663. <https://doi.org/10.3920/WMJ2015.2015>
- Zhang, K., Flannery, B. M., Oles, C. J., & Adeyua, A. (2018). Mycotoxins in infant/toddler foods and breakfast cereals in the US retail market. *Food Additives & Contaminants Part B Surveillance*, 11(3), 183-190. <https://doi.org/10.1080/19393210.2018.1451397>
- Zhao, K., Shao, B., Yang, D., Li, F., & Zhu, J. (2015). Natural Occurrence of *Alternaria* Toxins in Wheat-Based Products and Their Dietary Exposure in China. *PLoS One*, 10(6), e0132019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132019>
- Zhao, Y., Wang, Q., Huang, J., Ma, L., Chen, Z., & Wang, F. (2018). Aflatoxin B1 and sterigmatocystin in wheat and wheat products from supermarkets in China. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 11(1), 9-14. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1388295>

ARTÍCULO EN PREPARACIÓN