

A photograph of several oranges on a light-colored surface. One orange in the center-left is heavily covered in a fuzzy, light blue-green mold. The other oranges are mostly clear, though some show slight discoloration or small spots. The word "Microbichos" is overlaid in large black text across the moldy orange.

Microbichos

Micotoxinas en alimentos, un peligro invisible

Esmeralda Sánchez-Villegas¹,
Zuamí Villagrán²,
Luis Miguel Anaya-Esparza^{2*}

Resumen

Las micotoxinas son compuestos de bajo peso molecular producidos por hongos filamentosos presentes en los alimentos que pueden encontrarse a lo largo de la cadena productiva. Las micotoxinas son un peligro invisible para la salud humana porque no causan alteraciones en los alimentos y no tienen sabor u olor. Sin embargo, a bajas concentraciones presentan efectos nocivos que van desde irritaciones en la piel hasta daño renal, hepático o cáncer. Por lo que, es importante tomar medidas para garantizar la inocuidad de los alimentos, mediante la difusión de la información y conocimiento sobre los efectos dañinos de las micotoxinas.

Palabras clave: Micotoxinas; Alimentos; Efectos toxicológicos.

Las micotoxinas o toxinas fúngicas son moléculas producidas por algunos hongos filamentosos o mohos que crecen en los alimentos bajo condiciones determinadas de temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes. Estas moléculas no son utilizadas para el desarrollo y crecimiento normal del hongo, pero se presentan como un mecanismo de patogenicidad del mismo [1]. Desde el punto de vista de la inocuidad alimentaria, las micotoxinas se clasifican como riesgos químicos de origen biológico que a bajas concentraciones (ingesta diaria tolerable de 0.014 – 5.7 µg/kg de peso/día, dependiendo de la toxina) pueden causar daños a la salud de quienes las ingieren, inhalen o absorban a través de la piel, lo que se denomina micotoxicosis (enfermedad provocada por la exposición a mico-

¹Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Gral. Marcelino García Barragán 1421, Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44430.

²Centro Universitario de los Altos, Universidad de Guadalajara, Av. Rafael Casillas Aceves 1200, Tepatitlán, Jalisco, México. C. P. 47620.

*Autor para la correspondencia:
luis.aesparza@academicos.udg.mx

toxinas) [2]. Se estima que más de 400 tipos de toxinas son producidas por aproximadamente 150 especies de hongos, es posible encontrar un solo tipo de micotoxina o de varios tipos en un mismo alimento, ya que mohos de diversos géneros o especies pueden coexistir al mismo tiempo, lo que podría provocar problemas de salud pública [1,2].

Hongos y micotoxinas en los alimentos

Los hongos son contaminantes habituales de los alimentos debido a sus mecanismos de dispersión (propagación de esporas) y su principal fuente es el medio ambiente. Por lo que, estos microorganismos frecuentemente son encontrados a lo largo de la cadena productiva de diversos alimentos, es decir, pueden estar presentes desde el cultivo, cosecha, almacenamiento, transporte y procesamiento [1]; no obstante, existen diversos factores que influyen en el crecimiento de hongos micotoxigénicos y la biosíntesis de micotoxinas durante la producción de alimentos [3], tal como se esquematiza en la Figura 1.

En general, la mayoría de los hongos micotoxigénicos producen sus toxinas cuando las condiciones son favorables (Tabla 1). Muchas micotoxinas pueden ser producidas durante las etapas de crecimiento de diversos cultivos en el campo, asociado a factores biológicos y ambientales tales como la presencia de insectos o plagas, la suscep-

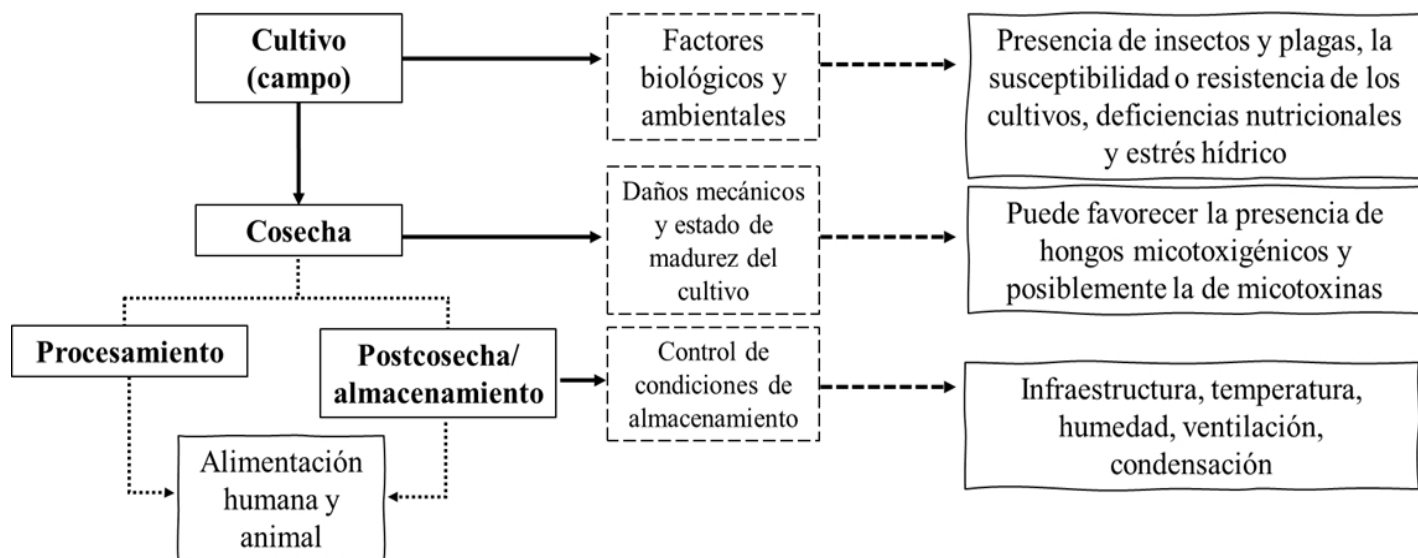


Figura 1. Factores que influyen en el crecimiento de hongos micotoxigénicos y la biosíntesis de micotoxinas (Adaptado de Gómez-Ayala [3]).

Tabla 1. Condiciones idóneas para la producción de micotoxinas [4].

Hongo	Temperatura (°C)	pH	Actividad del agua (Aw)
<i>Aspergillus sp.</i>	27 - 33	5-6	0.82 - 0.99
<i>Fusarium sp.</i>	22 - 28	3-4	0.85 - 0.87
<i>Penicillium sp.</i>	15 - 30	5-7	0.80 - 0.86
<i>Alternaria sp.</i>	20 - 23	NR	> 0.90
<i>Claviceps sp.</i>	24	NR	NR

NR: No reportado.

bilidad o resistencia de los cultivos, deficiencias nutricionales y estrés hídrico. En la etapa de cosecha, los daños mecánicos y el estado de madurez del cultivo pueden favorecer la presencia de hongos micotoxigénicos y posiblemente la de micotoxinas. La etapa postcosecha es crítica, en esta etapa se debe tener estricto control en la temperatura, la humedad y aireación para prevenir la producción de micotoxinas. Mientras que, en el procesamiento de alimentos, también se debe de controlar la temperatura, humedad y actividad de agua del alimento procesado para la prevención de la síntesis de micotoxinas [3]. Por ejemplo: Durante la producción de maíz, la síntesis de aflatoxinas por *Aspergillus sp.* puede ocurrir tanto en campo, almacenamiento y procesamiento. En campo, la producción de aflatoxinas se puede incrementar con el estrés hídrico, altas temperaturas, y los daños de la planta por presencia de plagas. En almacén, las condiciones de almacenamiento (infraestructura, temperatura, humedad y aireación) e inóculo primario son determinantes en la producción de toxinas. En el procesamiento, se han encontrado aflatoxinas en tortillas de maíz [5].



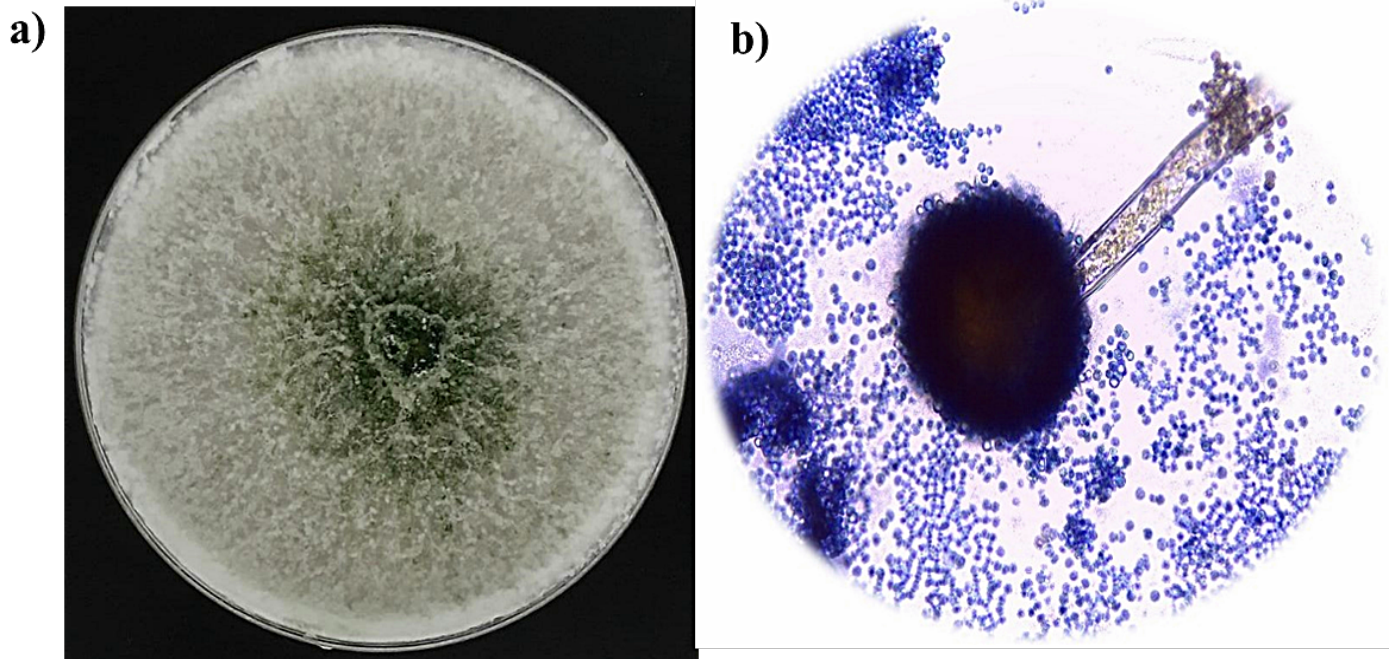


Figura 2. Cultivo en laboratorio en caja Petri (a) y observación al microscopio a 40X (b) de *Aspergillus sp.* aislado de maíz.

Los principales hongos productores de micotoxinas de interés sanitario en la industria de alimentos son el *Aspergillus sp.* (*A. parasiticus*, *A. flavus*, *A. ochraceus*) (Figura 2), *Fusarium sp.* (*F. sporotrichioides* y *F. graminearum*), *Penicillium sp.* (*P. verrucosum* y *Penicillium expansum*), *Alternaria sp.* y *Claviceps sp* [2, 6]. Estos hongos pueden encontrarse principalmente en cereales (maíz, sorgo, trigo y centeno), leguminosas (soya, girasol y cacahuate), frutas frescas y deshidratadas (manzana, cítricos, uva y fresas), frutos secos (almendra, nuez y pistacho), cacao, café y especias (pimienta negra, cúrcuma y jengibre), lo que supone no solo pérdidas económicas importantes para los productores, sino también, problemas de salud pública [2,3]. Por su parte, las micotoxinas se pueden clasificar de acuerdo al género del hongo que la produce (micotoxinas de *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* y *Claviceps*); la etapa de producción del alimento donde se generan (de cultivo, cosecha y postcosecha) [3]; su estructura química (cumarinas, lactonas y terpenos) [7], su origen biosintético (derivados de amino ácidos y policétidos); el órgano o sistema al que dañan (cerebro-neurotoxinas, hígado-hepatotoxinas, sistema inmune-inmunotoxinas

y riñón-nefrotoxinas) y los efectos que provocan en el organismo (mutagénicas, carcinogénicas y alérgicas) [6,7]. Las principales micotoxinas de interés que suponen un problema de salud pública son las Aflatoxinas B1, B2, G1 y G2, Ocratoxina A, citrina, patulina, toxina T-2 y HT-2, altemariol, deoxinivalenol, zearalenona fumonisinas y los alcaloides del ergot [8].

En este sentido, si los hongos producen micotoxinas en las materias primas utilizadas para elaborar alimentos para consumo humano y animal, estas moléculas podrían encontrarse en sus respectivos subproductos o derivados tales como jugos, néctares, mermeladas, jaleas, vinos, quesos y carne; y debido a que son termo y químicamente estables, es poco probable que se eliminen durante el proceso de industrialización de los alimentos o en algún punto de la cadena productiva. Por lo que, el ser humano puede tener exposición a las micotoxinas de forma directa al consumir alimentos contaminados tales como tortillas, frutas y café, o de manera indirecta a través del consumo de leche, huevo o carne proveniente de animales alimentados con forrajes contaminados [6,8], tal como se esquematiza en la Figura 3.

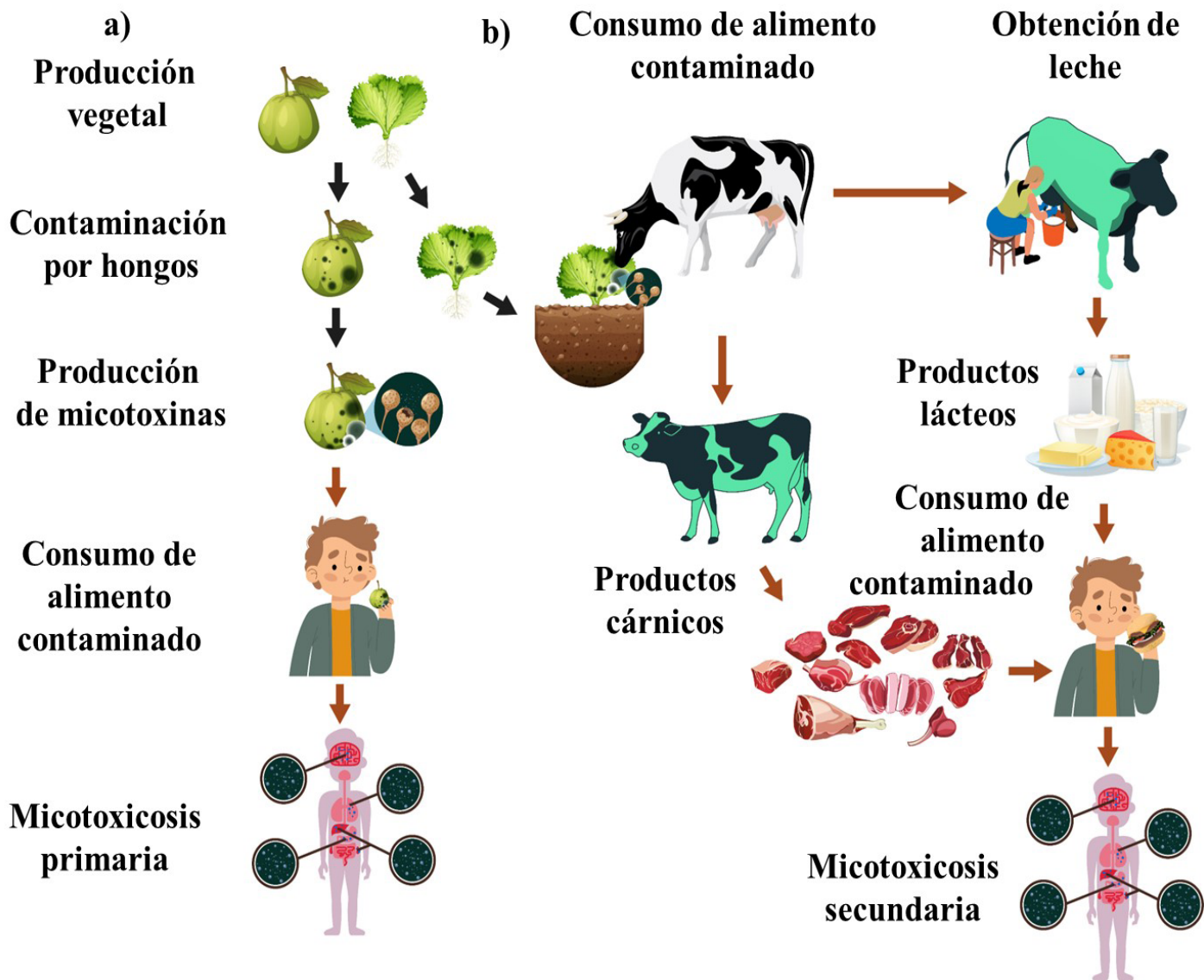


Figura 3. Representación esquemática sobre la exposición de personas a micotoxinas.

¿Por qué preocuparnos por las micotoxinas?

La ingesta de micotoxinas a través de alimentos contaminados tienen efectos dañinos (agudos o crónicos) en la salud de humanos y animales a bajas concentraciones (ingesta diaria tolerable de 0.014 – 5.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso/día, dependiendo de la micotoxina). Los efectos nocivos van desde síntomas leves hasta enfermedades graves, ya que pueden provocar irritaciones en la piel, afecciones en el sistema nervioso, sistema inmune, riñones e hígado; además, algunas micotoxinas son carcinogénicas (causan cáncer) y/o teratogénicas (causan malformaciones en el embrión o feto) [1,6], tal como muestra en la Tabla 2. Cabe señalar, que los efectos tóxicos de las micotoxinas dependen del tipo y cantidad ingerida, sinergismo entre micotoxinas, frecuencia de la exposición, condiciones de salud, edad y peso corporal del individuo [1].

¿Cómo reducir los riesgos asociados a la exposición de micotoxinas?

Las toxinas fúngicas representan un peligro invisible para la salud humana porque no causan alteraciones en los alimentos y no tienen sabor u olor [6]. En este contexto, la FAO/OMS han propuesto diversas estrategias para la prevención y control de micotoxinas, las cuales se basan en establecer programas de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP, por sus siglas en Inglés) con la finalidad de contar con alimentos inocuos [9]. Dichos programas se basan en siete principios: 1) Realización de un análisis de los peligros y determinación de medidas preventivas; 2) Determinación de los puntos críticos de control (PCC); 3) Establecimiento de límites críticos; 4) Vigilancia de cada PCC; 5) Establecimiento de medidas correctivas en caso de desviación de un límite crítico;

6) Mantenimiento de un registro; y 7) Establecimiento de procedimientos de verificación; los cuales se aplican, en un sistema integrado, a lo largo de las fases de producción, manipulación y elaboración, estos programas han sido útiles para la producción de alimentos libres de sustancias tóxicas a lo largo de la cadena productiva; así como, el uso de métodos físicos (rayos UV y X, radiaciones con microondas, elevadas temperaturas, uso de adsorbentes), químicos (amonización, nixtamalización, y aplicación de agentes oxidantes, ácidos o álcalis) y biológicos (uso de enzimas o microorganismos como bacterias ácido lácticas o levaduras para adherir micotoxinas) para la remoción de micotoxinas en alimentos [1,2,4].

Actualmente, el análisis cuantitativo de micotoxinas se lleva a cabo como medida de control de calidad de alimentos, es decir, que el contenido de micotoxinas en los alimentos se encuentre por debajo de los límites máximos permitidos para cada micotoxina. Dentro de los métodos analíticos para la identificación y cuantificación de micotoxinas en alimentos se encuentran los métodos basados en cromatografía de líquidos (HPLC) con detección UV o fluorescencia, HPLC acoplado a espectrometría de masas (HPLC-MS) con ionización atmosférica, ionización por electrospray o ionización química a presión atmosférica; así como, con HPLC-MS en tándem (HPLC-MS/MS) usando detectores como la trampa de iones y el triple cuadrupolo. Adicionalmente, se utilizan equipos de cromatografía de líquidos de ultra alta resolución (UHPLC).

Tabla 2. Micotoxinas en alimentos y su efecto en el organismo

Tipo de micotoxina	Organismo productor	Alimentos relacionados	IDT µg/kg peso/día	Efecto en el organismo	Ref.
Aflatoxina B1	<i>Aspergillus</i>	Cereales Semillas oleaginosas Especias	0.014	Toxicidad aguda con lesiones hepáticas graves. Cáncer de hígado	[3,6]
Ocratoxina A	<i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i>	Cereales Granos de café Vino y jugo de uva	1.2 – 5.7	Daño renal. Desarrollo anormal del feto. Daño al sistema inmunitario	[3,6]
Fumonisina B1 Toxina T-2 y HT-2	<i>Fusarium</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i>	Maíz Avena	1.0 0.06	Cáncer de esófago Toxicidad aguda Irritación de piel o la mucosa intestinal y diarrea	[6] [3,6]
Desoxinivalenol y nivalenol	<i>Fusarium</i>	Trigo	0.7	Toxicidad aguda. Irritación de piel o la mucosa intestinal y diarrea	[4,5]
Patulina	<i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i> <i>Byssochlamy</i> <i>Pacelomyces</i>	Manzanas Jugos y mermeladas	0.4	Náuseas y trastornos gastrointestinales	[1,3,6]
Zearalenona	<i>Fusarium</i>	Trigo	0.5	Efectos hormonales Infertilidad	[3,6]
Alternariol	<i>Alternaria</i>	Frutas Legumbres	0.03	Citotoxicidad Mutagenicidad	[1,3,6]
Alcaloides de ergot	<i>Cerviceps</i>	Trigo Centeno	0.6	Ergotismo	[1,3,6]

*IDT = Ingesta Diaria Tolerable

Otro método que se utiliza ampliamente para la cuantificación o semi-cuantificación de micotoxinas son los métodos de inmunoensayo (ELISA) que se basan en el uso de anticuerpos para detectar micotoxinas; este último es rápido, fácil de utilizar y barato en comparación con los métodos cromatográficos y espectroscópicos. Sin embargo, para llevar a cabo el análisis de micotoxinas con estas metodologías es necesario hacer una extracción y purificación de las micotoxinas, proceso que depende de la matriz alimentaria a analizar. Estos procesos de extracción pueden aplicarse de manera individual o combinada y destacan la extracción de fase sólida dispersiva (dSPE-QuECHERS), microextracción líquido-líquido dispersiva (DLLME) y la microextracción líquido-líquido dispersiva con líquidos iónicos (IL-DLLME) [7].

Además de lo realizado por la industria alimentaria, en casa se pueden adoptar medidas sencillas de seguridad para minimizar el riesgo de exposición a micotoxinas [9], tales como evitar comer alimentos que parezcan sospechosos o en estado de deterioro. Recordemos que la presencia de mohos en alimentos es un factor de riesgo para la generación de micotoxinas. En este sentido, cuando frutas, verduras, tortillas y pan tienen moho en la superficie es común cortar la parte dañada y consumir el producto restante; sin embargo, el retirar el moho del alimento, no es un indicador de que el producto esté libre de toxinas, por lo que, se recomienda no consumir el alimento si tiene presencia de hongo por pequeño que sea. Además, es importante mantener los alimentos a temperaturas de refrigeración o almacenados correctamente en lugares secos y frescos para evitar la aparición de hongos en los alimentos, así como inspeccionar regularmente los alimentos almacenados para detectar la presencia de mohos, especialmente aquellos a base de cereales como el maíz y trigo o frutos secos como almendra y nuez, y preferentemente no dejar pasar mucho tiempo antes de consumirlos y descartar los que tengan un aspecto mohoso [6].



Dado que las micotoxinas son invisibles a nuestros ojos pero perjudiciales para la salud humana, es importante tomar medidas para garantizar la inocuidad de los alimentos. Lo anterior, puede lograrse mediante la difusión de la información y conocimiento sobre los efectos nocivos de las micotoxinas.

Referencias

- [1] Nan, M., Xue, H., & Bi, Y. (2022). Contamination, detection and control of mycotoxins in fruits and vegetables. *Toxins*, 14(5), 309. <https://doi.org/10.3390/toxins14050309>
- [2] Puri, S., Shingh, S., & Tiwari, P. (2019). Mycotoxins: a threat to food security and health. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 7(3), 298-303. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v7i3.24651>
- [3] Gómez-Ayala, A.E. (2007). Alimentos y micotoxinas. *Farmacia Profesional*. 21(8), 49-53. ELSEVIER. <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13109791>
- [4] Denli, M., & Pérez, J.F. (2006). Contaminación por micotoxinas en los piensos: efectos, tratamiento y prevención. *Facultad de veterinaria, UAB*. https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/Micotoxicosis/31-intoxicacion_por_micotoxinas.pdf Accesado 26/05/2023.
- [5] Martínez-Padrón, H. D., Hernández-Delgado, S., Reyes-Méndez, C. A., & Vázquez-Carrillo, G. (2013). The genus *Aspergillus* and their mycotoxins in maize in Mexico: Problems and perspectives. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31(2), 126-146. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092013000200005&script=sci_abstract&tlng=en Accesado 26/05/2023.
- [6] Organización Mundial de la Salud. (2018). Micotoxinas. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>
- [7] Arroyo-Manzanares, N., Huertas-Pérez, J. F., Gámiz-Gracia, L., & García-Campaña, A. M. (2014). Control de micotoxinas en alimentos. *Boletín Graseqa*, 7(1), 16-31. https://www.ugr.es/~fqm302/media/pdf/BOLETIN%20GRASEQA_7_2014.pdf Accesado 26/05/2023.
- [8] Awuchi, C.G., Ondari, E.N., Nwozo, S., Odongo, G.A., Eseoghene, I.J., Twinomuhwezi, H., Ogbonna, C.U., Upadhyay, A., Odeyele, A.O., & Okpala, C.O.R. (2022). Mycotoxins' toxicological mechanisms involving humans, livestock and their associated health concerns: A review. *Toxins*, 14(3), 167. <https://doi.org/10.3390/toxins14030167>
- [9] Codex Alimentarius CXS 193-1995 (2019). Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Recuperado de https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf . Accesado 10/04/2023.