

**Artículo de Revisión**<https://doi.org/10.61767/mjte.003.2.1324>

Vega-Domínguez et al., 2024

Recibido: 11-07-2024

Revisado: 16-08-2024

Aceptado: 27-08-2024

Publicado: 10-09-2024

Revisión: Principales hongos y micotoxinas presentes en la cebada (*Hordeum vulgare*)**Review: Main fungi and mycotoxins present in barley (*Hordeum vulgare*)****A. Vega-Domínguez¹, A. Quintero-Lira¹, J. Espitia-López¹, V. A. Ibarra-Medina¹, J. Piloni-Martini^{1*} y C. U. López-Palestina¹**¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias (UAEH), Avenida Universidad Km. 1 s/n Exhacienda Aquetzalpa, 43600 Tulancingo, Hgo.* Corresponding author: javier_piloni7632@uaeh.edu.mx**Resumen**

La cebada es un cultivo de gran importancia a nivel mundial y particularmente en México, ya que es reconocida por su adaptabilidad ambiental, además de que forma parte de numerosos procesos industriales, destacándose en la producción de cerveza y whisky, y también es utilizada como alimento para animales. Sin embargo, este grano está expuesto a diversos riesgos, especialmente la contaminación por hongos durante su ciclo de cultivo, cosecha y almacenamiento. Los hongos más frecuentes son *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, estos producen metabolitos tóxicos conocidos como micotoxinas, y dentro de las que se pueden encontrar en la cebada son las aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, tricotecenos y zearalenona. Debido a esto, el objetivo de la presente investigación es recabar información de referencias bibliográficas acerca de las micotoxinas que pueden presentarse en la cebada, así como sus efectos adversos en los humanos y los animales por su consumo, además de su detección por medio de la aplicación de métodos analíticos, incluyendo sus límites de consumo permisibles por organizaciones como la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), e incluso su prevención y control mediante controles mecánicos, físicos y químicos.

Palabras clave: cebada, hongo, micotoxinas.

Abstract

Barley is a crop of great importance worldwide and particularly in Mexico, as it is recognized for its environmental adaptability, in addition to being part of numerous industrial processes, standing out in the production of beer and whiskey, and it is also used as animal feed. However, this grain is exposed to various risks, especially contamination by fungi during its cultivation,



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

harvest and storage cycle. The most common fungi are *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium*, these produce toxic metabolites known as mycotoxins, and among those that can be found in barley are aflatoxins, fumonisins, ochratoxins, trichothecenes and zearalenone. For this reason, the objective of this research is to gather information from bibliographical references about the mycotoxins that may be present in barley, as well as their adverse effects on humans and animals due to their consumption, in addition to their detection through the application of analytical methods, including their permissible consumption limits by organizations such as the FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), and even their prevention and control through mechanical, physical and chemical controls.

Keywords: barley, fungus, mycotoxins.

1. Introducción

La cebada (*Hordeum vulgare*) está posicionado como el cuarto cultivo más importante después del maíz, arroz y trigo, tanto a nivel global como en México (Zhu, 2017), donde se produce en grandes cantidades junto con otros granos básicos e industriales. Este grano se destaca por su producción mundial significativa, obteniendo una cifra de más de 154 millones de toneladas en el 2022 (FAO, 2024a), en el que México aportó cerca de un millón de toneladas, teniendo como principales estados productores Guanajuato e Hidalgo (INEGI, 2023). La cebada se ha convertido en una materia prima para diversas aplicaciones, en la industria es usada para la elaboración de cerveza, whisky y alimento para animal como forraje (Lamenca-Palacio, 2015). A pesar de su importancia y producción, la cebada está expuesta a diversos riesgos, especialmente por la contaminación de hongos durante su cultivo, cosecha y almacenamiento (Requena *et al.*, 2005; Marrez & Ayes, 2022), afectando tanto la calidad como la seguridad alimentaria del producto (SAGARPA, 2016; Lugo-Melchor *et al.*, 2017). Los hongos a determinada humedad relativa y temperatura pueden producir micotoxinas que son un grupo de metabolitos secundarios producidos por ciertas especies de hongos, generalmente *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (Lugo-Melchor *et al.*, 2017; Juraschek *et al.*, 2022). Las micotoxinas que se encuentran comúnmente en la cebada incluyen las aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, tricotecenos y zearalenona (SAGARPA, 2016), afectando principalmente al hígado y los riñones,

debido a que son los órganos donde se realiza su biosíntesis a partir de moléculas de acetato, piruvatos, etc., además, también llegan a dañar al sistema hematológico, inmunológico, neurológico y respiratorio (Pernica *et al.*, 2019). Estas toxinas pueden causar una variedad de enfermedades, tanto en humanos como en animales, y se clasifican en agudos, que resultan de su ingestión de altas concentraciones en un lapso corto, y los crónicos, que se derivan de la ingestión de bajas cantidades a largo plazo, como la hepatotoxicidad, efectos endocrinos, mutagenicidad, carcinogenicidad, entre otros (González-Peñas, 2020; Marrez & Ayes, 2022).

2. Definición de cebada

El concepto de "grano" se emplea para referirse a productos destinados tanto al consumo humano como animal, además de su uso como materia prima en la industria alimentaria (Lugo-Melchor *et al.*, 2017). En México, se produce alrededor de 900 cultivos, dentro de los cuales se encuentran los granos básicos como el maíz, frijol, trigo y arroz, hasta los granos industriales como el sorgo, avena y cebada (Lugo-Melchor *et al.*, 2017; SADER, 2022). El grano de la cebada (*Hordeum vulgare*), tiene como longitud de 6.0 a 9.5 mm y de ancho de 1.5 a 4.0 mm. Mientras que su planta posee hojas ceñidas y un color verde más claro comparada con el trigo, sus flores tienen tres estambres y un pistilo con dos estigmas. Cabe mencionar, que las exigencias en cuanto al clima son pocas, sin embargo, crece mejor en ambientes frescos y moderadamente secos con precipitaciones de 400 a 600 mm anuales.



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

Requiere pocas unidades de calor para su madurez fisiológica y se desarrolla a altitudes que van de 1,800 a 3,000 msnm, además, tolera la salinidad, pero no los suelos encharcados y arcillosos, y puede desarrollarse en suelos poco profundos, pedregosos y bien drenados con pH de 6 a 8.5. Esto se debe a su evolución genética, mostrando una notable adaptabilidad ambiental en contraste con otros cultivos que carecen de esta habilidad (SAGARPA, 2016; SIAP, 2017). Teniendo una producción de este cultivo en el 2022 de 154,877,139.86 toneladas a nivel mundial (FAO, 2024a), y en México se obtuvieron 969,912.9 toneladas, donde el Estado de Hidalgo se posicionó como el segundo estado productor con 147,448 toneladas, seguido de Guanajuato (INEGI, 2023). La cebada es un grano versátil que se emplea el de mayor calidad para la elaboración de malta, cerveza y whisky, representando el 21 % de toda la producción total a nivel mundial. Sin embargo, la mayor parte de la producción se destina para el consumo animal, con un 70 % como forraje, mientras que menos del 6% para consumo humano directamente (Lamenca-Palacio, 2015; Simón & Golik, 2022).

3. Composición química

Los componentes principales de la cebada incluyen carbohidratos, fibra, proteínas, minerales, lípidos y vitaminas. Los carbohidratos representan entre 78 al 83% de peso seco del grano, comprendiendo algunos monosacáridos como glucosa y fructosa, disacáridos como sacarosa y maltosa, oligosacáridos como rafinosa, y polisacáridos como almidón, fructanos, arabinosanos y β -glucanos (Geng *et al.*, 2022). En cuanto a las proteínas, su concentración es del 7 al 25%, siendo la hordeína la proteína más abundante con un 50%. No obstante, la fibra es el tercer componente más abundante, alcanzando hasta un 13.3% (Raj *et al.*, 2023). Mientras que los minerales pueden llegar a estar presentes en la cebada entre 2.5 a 3.1%, incluyendo el potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) (Geng *et al.*, 2022). Así mismo, en menor concentración se encuentran los lípidos oscilando entre 3.12 a 3.56% (Krishnan *et al.*,

2023), siendo el endoespermo la parte del grano con la mayor cantidad, destacando la presencia predominante de triacilglicerol como lípido apolar, acompañados en menor medida por diacilglicerol, ácidos grasos libres, monoacilglicerol y esteroides (Raj *et al.*, 2023). De igual manera, las vitaminas pueden representar entre 0.85 hasta un 3.15%, destacando la vitamina E, también conocida como tocoles, debido a que la cebada la contiene en cantidades más significativas en comparación con otros cereales (Geng *et al.*, 2022; Raj *et al.*, 2023).

4. Contaminación por hongos

Los granos están propensos a contaminación por microorganismos, principalmente por hongos de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, y puede encontrarse en cualquier etapa de la cadena alimentaria, desde la cosecha hasta el almacenamiento (Juraschek *et al.*, 2022; Marrez & Ayesh, 2022). El género *Aspergillus* comprende en 200 especies de hongos, los cuales se pueden emplear en diferentes áreas, como en la salud para la producción de cortisona, medicamento utilizado para la inflamación, y el área alimentaria para elaborar salsa de soja y vino de arroz, por mencionar algunos, además también son utilizados para la descomposición de residuos plásticos (Billones *et al.*, 2020). La mayoría de los hongos de este género son beneficiosos, sin embargo, existen algunos dañinos para los seres vivos (Abulaizi *et al.*, 2024), y para su desarrollo óptimo, requiere de parámetros ambientales, como una humedad relativa oscilando el 70 y 90%, y en semillas debe tener un contenido entre el 15 y 20%, y un amplio rango de temperatura que va desde los 0 hasta los 45 °C (Yuef-Martínez & Hernández-Delgado, 2013). Mientras que el género *Penicillium* se encuentran más de 400 especies de hongos, caracterizados por tener una apariencia similar a un “cepillo” debido a la presencia de hifas individuales con un diámetro entre 2 y 5 μm (Lindsay *et al.*, 2023), se pueden encontrar desde el suelo y la vegetación en descomposición, hasta alimentos secos, frutas, verduras frescas, especias, cereales, también en el aire y el polvo, y se desarrollan en un rango de temperatura óptima entre 5 °C y 37 °C, con una



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

actividad de agua entre 0.78 a 0.88 y un pH entre 3 a 4.5 (Demjanová *et al.*, 2021). El cual, en 1928 adquirió una relevancia en el ámbito medicinal cuando Alexander Fleming descubrió que la cepa *Penicillium notatum* tenía la capacidad de inhibir el crecimiento de una colonia bacteriana de *Staphylococcus*, dando como resultado, el desarrollo de la penicilina, y con esto se dio inicio a la “era de los antibióticos”. Actualmente, este género tiene aplicaciones en biotecnología, biología, agricultura y farmacéutica, pero también actúan como saprobios y son los responsables de generar una variedad extensa de micotoxinas (Lindsay *et al.*, 2023). Por otro lado, el género *Fusarium* se comprende de más de 100 especies de hongos filamentosos que se encuentran ampliamente distribuidos en las plantas y en el suelo, debido a su capacidad para crecer en temperaturas de 37°C, las cuales 12 de ellas son consideradas patógenas para los seres humanos (Tapia & Amaro, 2014), la presencia de estos hongos patógenos resulta una variedad extensa de enfermedades como marchitez, pudrición y plagas que afectan de manera considerable a numerosos cultivos, provocando tanto pérdidas especialmente en el granos como el maíz, trigo y cebada, como la contaminación de micotoxinas en los granos (Krishnan *et al.*, 2023).

4.1 Micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios comúnmente tóxicos, los cuales actualmente existen más de 300 que se han estudiado (Juraschek *et al.*, 2022), y son producidos por hongos (*Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*) en condiciones adversas, como humedad, temperaturas inapropiadas, ventilación deficiente y la presencia de factores estresantes como la falta de agua, que puede resultar de sequías prolongadas (Petrović *et al.*, 2023), y así provocando la alteración tanto la apariencia como la calidad del producto, además de afectar a su capacidad de germinación, ennegrecimiento parcial o total, pérdida de peso y hedor (Lugo-Melchor *et al.*, 2017; SAGARPA, 2016). Aproximadamente el 25% de los cultivos a nivel mundial son afectados por la presencia de micotoxinas, causando pérdidas mundiales de

alrededor de 1,000 millones de toneladas de productos alimenticios al año (FAO, 2024). Las micotoxinas pueden ingresar a la cadena alimentaria directamente a través del consumo de alimentos o indirectamente mediante productos de origen animal como carne y leche, provenientes de animales que los han ingerido ya contaminados con estas toxinas (Lamencapalacio, 2015). Además, causan daño en la salud de los seres humanos y animales que los consumen (Lugo-Melchor *et al.*, 2017), en los que se dividen en agudos, por el consumo a niveles elevados de toxinas en poco tiempo, y en crónicos, ocasionados por la ingesta continua de cantidades reducidas en un periodo de tiempo prolongado (González-Peñas, 2020). Las micotoxinas que se encuentran en la cebada son las aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, tricotecenos, deoxinivalenol y zearalenona (SAGARPA, 2016).

4.1.1 Aflatoxinas

Las aflatoxinas son producidas por especies de *Aspergillus*, especialmente *A. flavus* y *A. parasiticus*, estos hongos se encuentran comúnmente en climas tropicales y subtropicales (Gómez-Ayala, 2007; Zingales *et al.*, 2022). Existen más de 20 aflatoxinas conocidas, pero las que se presentan en los alimentos de forma natural son la B₁, B₂, G₁ y G₂ (Figura 1: a, b, c y d). Su abreviatura se deriva de acuerdo al color que presenta su fluorescencia bajo la luz ultravioleta, que puede variar de color azul (blue) o verde (green), respectivamente (Marrez & Ayes, 2022). Estas micotoxinas son absorbidas rápidamente por el sistema digestivo o respiratorio hasta llegar al torrente sanguíneo, siendo el hígado el principal órgano más afectado (Ocampo-Salinas, 2006), pero se ha estudiado que también los riñones, pulmones, cerebro y corazón son afectados considerablemente (Marrez & Ayes, 2022). Un alto consumo de aflatoxinas causa toxicidad aguda y posible muerte en humanos y animales, y a niveles bajos a un largo plazo se desencadenan enfermedades primarias como la ictericia, cáncer de hígado, hepatitis crónica y cirrosis, siendo la B₁ clasificada como carcinógena y mutágena hepática (Abraham *et*



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

al., 2022; Marrez & Ayesh, 2022). Además de la cebada, también se presentan en otros cereales como el trigo, maíz, arroz, sorgo y mijo, en oleaginosas como la soya, algodón, girasol y maní, en especias como la cúrcuma, chiles, jengibre y pimienta negra, y frutos secos como

almendras, nueces y pistaches (Marrez & Ayesh, 2022), de igual manera se encuentra en la carne, debido a que las aflatoxinas son acumuladas en los animales por su alta solubilidad en grasas (Abraham *et al.*, 2022).

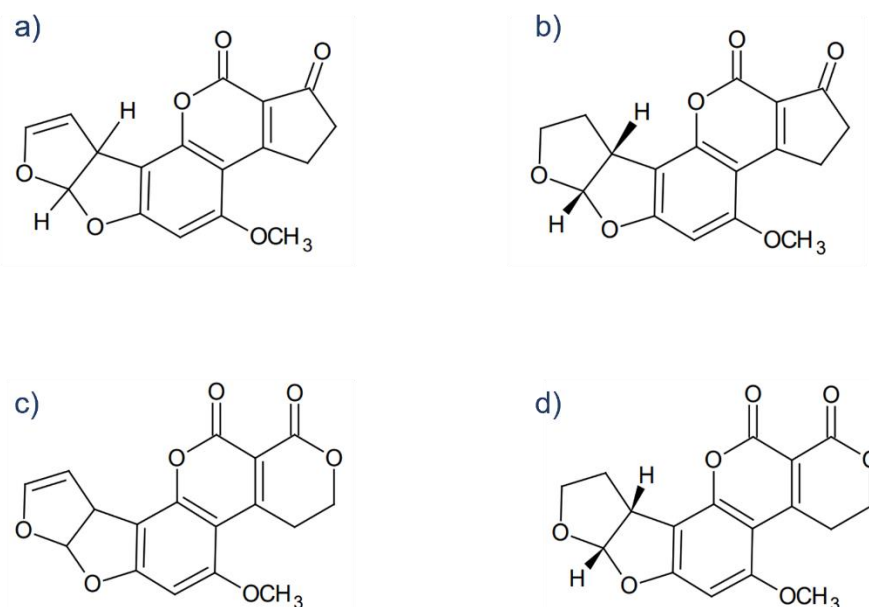


Figura 1. Estructura molecular de las aflatoxinas (a) B₁, (b) B₂, (c) G₁ y (d) G₂. **Fuente:** (Pernica *et al.*, 2019).

4.1.2 Fumonisinias

Las fumonisinas son producidas por especies del género *Fusarium*, principalmente por *F. proliferatum*, *F. verticillioides*, *F. nygamai* y *F. anthophilum* (SAGARPA, 2016). Se han identificado más de quince fumonisinas, clasificadas en cinco grupos conocidos como A, B, C, P y H (Marrez & Ayesh, 2022; Zingales *et al.*, 2022). Las variantes más comunes en la naturaleza son la B1, B2, B3 y B4, siendo la B1 la más tóxica, originando el desarrollo de cáncer de hígado y esófago en los humanos, mientras que en los animales provoca tanto toxicidad aguda como crónica, por parte de los caballos puede desarrollar leucoencefalomalacia equina (ELEM) causando daño hepático, efectos neurotóxicos y degeneración en el cerebro (Marrez & Ayesh, 2022). Se han encontrado frecuentemente en el maíz, arroz, sorgo, trigo y cebada (SAGARPA,

2016), además de la cerveza, espárragos, leche e higos secos (Marrez & Ayesh, 2022). Estas micotoxinas son relativamente resistentes al calor, por lo que, se necesita entre 150 a 200 °C para su eliminación, esto se puede alcanzar en los procesos de freído, asado, horneado y cocinado por extrusión, y cabe mencionar que el porcentaje de reducción depende de la matriz del alimento (Marrez & Ayesh, 2022).

4.1.3 Ocratoxinas

Las ocratoxinas son originadas por el género *Aspergillus* y *Penicillium*, específicamente de las especies *A. ochraceus*, *A. carbonarius*, *A. niger*, *A. meleus*, *A. cretensis*, *A. flocculosus*, *A. sclerotiorum*, *P. verrucosum* y *P. viridicatum* (SAGARPA, 2016). Existen tres tipos, la ocratoxina A, ocratoxina B y ocratoxina C, siendo la primera, la más abundante en los alimentos y de alta



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

toxicidad en comparación de las demás (Abraham *et al.*, 2022; Marrez & Ayesh, 2022). La ocratoxina A (Figura 2) tiene como órgano blanco el riñón y es considerada un probable carcinógeno para humanos causando carcinoma renal y en los animales provoca nefrototoxicidad (Ocampo-Salinas, 2006; Marrez & Ayesh, 2022).

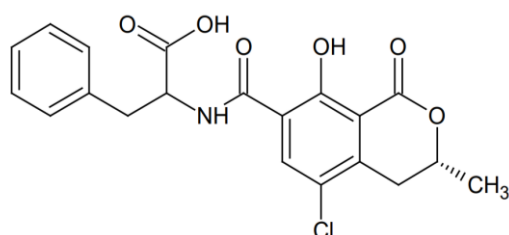


Figura 2. Estructura molecular de la ocratoxina A. **Fuente:** (Pernica *et al.*, 2019).

Se tiene registro de la presencia de ocratoxina A en cereales como la cebada, arroz, cacao, frijol, café, también en carne, frutos secos, vino, en carne de pescado y ave, derivados como el huevo y la leche, en especias y hierbas medicinales (Marrez & Ayesh, 2022), además existen fuentes

no convencionales como el aceite de oliva, alimentos infantiles a base de cereales, regaliz e infusiones (Ravelo-Abreu *et al.*, 2011).

4.1.4 Tricotecenos

Los tricotecenos son producidos por el género *Fusarium* y se clasifican en cuatro grupos, de los cuales el A y el B son los más destacados por su toxicidad. Dentro del grupo A se encuentran la toxina T-2, HT-2, el neosolaniol y el escirpenol, y en el B pertenecen el deoxinivalenol (DON), nivalenol (NIV) y fuzarenoma. El DON (Figura 3: a) es producido por *F. graminearum*, *F. culmorum* y *F. crookwellense*, y se pueden presentar en el cultivo del maíz, avena, sorgo, centeno, trigo y cebada, desencadenando anorexia en humanos y animales. Mientras que la T-2 (Figura 3: b) es producida por *F. sporotrichoides*, *F. poae*, *F. tricinctum* y *F. acuminatum*, y se pueden encontrar en el maíz, avena, trigo y cebada, además su consumo puede causar hemorragia, edema y necrosis en tejidos epidérmicos (Ocampo-Salinas, 2006).

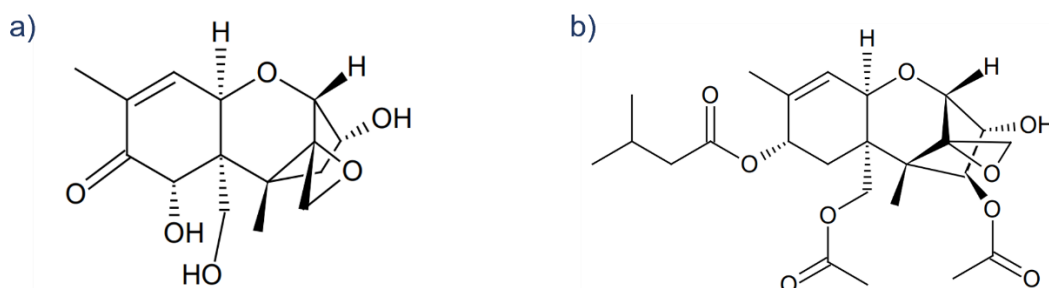


Figura 3. Estructura molecular de tricotecenos (a) deoxinivalenol y (b) T-2. **Fuente:** (Pernica *et al.*, 2019).

4.1.5 Zearalenona

La zearalenona (Figura 4) es originada por el género *Fusarium*, como la especie *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. equiseti*, *F. semitectum* y *F. crookwellense*. Se pueden encontrar en diferentes cereales como

avena, sorgo, trigo, maíz, cebada, etc. Esta micotoxina tiene efectos estrogénicos, en animales causa dificultad para reproducirse, edema valvular, prolapso vaginal e hipertrofia mamaria en las hembras y en machos agrandamiento de la glándula mamaria y atrofia



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

testicular, en humanos causa la presencia de síndromes hiperestrogénicos, dependiendo del tiempo de exposición (SAGARPA, 2016).

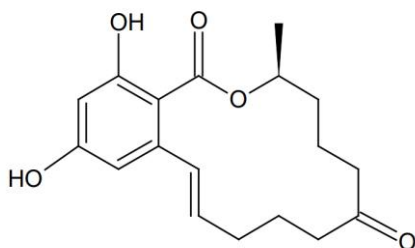


Figura 4. Estructura molecular de la zearalenona.
Fuente: (Pernica *et al.*, 2019).

5. Detección de micotoxinas

Un método reconocido, eficaz y rentable para regular la exposición humana a contaminantes alimentarios especialmente con micotoxinas, es el biomonitoreo humano (HBM), en el que consiste en monitorear los puntos de exposición, y establecer límites mínimos y máximos. Las micotoxinas se pueden detectar por medio de biomarcadores directos que utilizan métodos analíticos estandarizados y validados, principalmente para compuestos originales, debido a la limitada disponibilidad de metabolitos como estándares de referencia. Mientras que los biomarcadores indirectos, también conocidos como biomarcadores de efecto, suelen no ser específicos y se reflejan cambios estructurales o funcionales que ocurren en el cuerpo debido a la exposición de estas toxinas. Por otro lado, también se encuentran los biomarcadores no dirigidos, que son aplicados para identificar derivados desconocidos de micotoxinas. Las matrices biológicas de fácil acceso para el biomonitoreo humano son la orina, suero, plasma y leche materna. Algunas micotoxinas pueden ingresar al torrente sanguíneo sin cambios, mientras que otras pueden experimentar diversas modificaciones durante su paso por el sistema metabólico humano y animal. Para evaluar su exposición de manera precisa, se considera las formas metabolizadas que frecuentemente son utilizadas como biomarcadores (Habschied *et al.*, 2021).

Como se mencionó anteriormente, en el caso de los biomarcadores directos son utilizados para la determinación y cuantificación de micotoxinas en niveles bajos, en las que consiste en aplicar métodos analíticos, los cuales utilizan la metodología de muestreo, extracción, método y detección. La toma de muestra puede tener un efecto significativo en los resultados finales, debido a que los hongos que producen las micotoxinas no crecen uniformemente en el alimento, por lo tanto, la homogenización debe ser realizada antes del muestreo. La extracción es utilizada para remover selectivamente las micotoxinas de interés de la matriz, utilizando un solvente que permita una posterior limpieza o un análisis directo. La selección del solvente depende de factores como las propiedades físicas y químicas de la muestra, la seguridad del solvente, el costo, la solubilidad, hasta incluso los pasos posteriores a la extracción. Actualmente los solventes más comúnmente utilizados son el metanol, cloroformo, acetonitrilo, diclorometano, acetona y acetato de etilo, cabe mencionar, que la adición de una pequeña cantidad de agua o una solución de agua acidificada con ácido fórmico, ácido acético o ácido cítrico suele mejorar la eficiencia de la extracción al facilitar la penetración del solvente en el material y romper las interacciones entre toxinas y otros componentes diferentes de la muestra. Los métodos utilizados para la detección de micotoxinas se clasifican en cromatográficos, inmunológico y biológico (Pernica *et al.*, 2019), en las que se puede observar las ventajas y desventajas de cada una en la Tabla 1.

6. Límite permisible de micotoxinas en alimentos

En la actualidad, aproximadamente 100 países poseen límites específicos sobre los niveles permitidos de micotoxinas importantes en alimentos para consumo humano y animal. En la Tabla 2 se puede observar algunas de las micotoxinas comúnmente presentes en los alimentos de la Administración de Alimentos y medicamentos (FDA) en comparación con la Unión Europea (EU) (Alshannaq & Yu, 2017).



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

Además de las personas y el ganado, las mascotas también pueden enfrentar riesgos debido a que la mayoría de sus alimentos son elaborados con granos, los cuales existe límites para las

micotoxinas de deoxinivalenol, zearalenona y ocratoxina A (Kępińska-Pacelik & Biel, 2021), como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 1. Métodos utilizados para determinación de micotoxinas con sus ventajas y desventajas.

Método	Ventajas	Desventajas	
Cromatográficas	TLC	Es de bajo costo, su proceso es rápido y simple	Carece de automatización
	GC	Tiene alta resolución, precisión, sensibilidad y es un análisis rápido	Está limitado a muestras volátiles y no apto para muestras térmicamente lábiles
	HPLC	Alta resolución, bajo límite de detección, específico y puede ser combinado con un sistema de detección múltiple	El equipo y procedimiento es costoso y consume mucho tiempo
	LC – MS / MS	Posee alta sensibilidad, selectividad, limpieza de muestras de manera fácil y determinación de múltiples micotoxinas	Es costoso el equipo y procedimiento de limpieza y se requiere mucho tiempo
Inmunológico	ELISA	Aplicado en diferentes matrices, es sensible, rápido, específico, de costo relativamente bajo, su procedimiento simple y el límite de detección es bajo	Los resultados suelen mostrar una sobreestimulación debido a la reactividad cruzada de las micotoxinas
Biológico	Biosensor	Es rápido, práctico y sensible	Renueva la superficie del receptor. Además, en aplicaciones de alta producción falta la mejora de sensibilidad, especificidad, estabilidad y reproducibilidad

Tabla 2. Límites establecidos de micotoxinas presentes en los alimentos para humanos y para el ganado por la FDA y la EU.

Micotoxina	Límites (µg / kg)	
	FDA	EU
Aflatoxinas B ₁ , B ₂ , G ₁ y G ₂	20 en total	2 - 12 para B ₁ 4 - 15 en total
Ocratoxina A	No establecido	2 - 10
Fumonisinias B ₁ , B ₂ y B ₃	2,000 – 4,000	200 – 1,000
Zearalenona	No establecido	20 - 100
Deoxinivalenol	1,000	50 - 200



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

Tabla 3. Límites establecidos de micotoxinas presentes en los alimentos para mascotas.

Micotoxina	Producto alimenticio para mascotas	Límite (mg / kg)
Deoxinivalenol	Cereales y productos (excepto subproductos de maíz)	8
	Subproductos de maíz	12
	Piensos compuestos	5
Zearalelona	Cereales y productos (excepto subproductos de maíz)	2
	Subproductos de maíz	3
	Piensos compuestos para perros y gatos adultos (destinados para la reproducción)	0.2
Ocratoxina A	Cereales y productos de cereales	0.25
	Piensos compuestos	0.01

7. Prevención y control

Se puede llegar a prevenir y controlar la presencia de micotoxinas tanto en los cultivos como en el grano, clasificándose en controles mecánicos, físicos y químicos. El control mecánico implica en realizar prácticas agrícolas, como el cosechar en las condiciones apropiadas, reducir el estrés en la planta, rotación de cultivo y reducir la presencia de maleza o residuos agrícolas para evitar la descomposición. Dentro del control físico se encuentra el tratamiento térmico, utilizando altas temperaturas, alrededor de 150°C que puede disminuir la presencia de micotoxinas, pero en algunos alimentos puede llegar a ser contraproducente por la pérdida de componentes beneficiosos. Otra alternativa puede ser la reducción de humedad después de la cosecha durante el almacenamiento, este método es muy utilizado en plantas y semillas, además, las instalaciones que se utilizan para este fin deben de estar acondicionadas para la migración de la humedad y evitar la condensación. Por otro lado, los controles químicos son productos muy utilizados para la eliminación de micotoxinas, incluyendo los ácidos, bases, agentes oxidantes, sales, entre otros. Incluso la amonización es altamente aplicado para la desintoxicación en alimentos contaminados por ocratoxina y la aflatoxina, tal es el caso el maíz, trigo y cebada (Omotayo *et al.*, 2019).

8. Conclusión

El cultivo de cebada tiene una importancia crucial tanto a nivel mundial como nacional. Sin embargo, al igual que otros granos, enfrenta desafíos significativos relacionados con la contaminación por hongos. A pesar de ser un recurso con alta producción a nivel mundial, utilizado directamente o como derivado procesado en diversas industrias, incluida la alimentaria y la ganadera, la seguridad alimentaria de la cebada se ve amenazada por la presencia de micotoxinas producidas por hongos patógenos. Estas micotoxinas pueden ocasionar graves consecuencias tanto para la salud humana como animal, desde enfermedades agudas hasta crónicas. Por lo que es de suma importancia la detección de estas toxinas para garantizar la seguridad alimentaria y calidad de los productos, utilizando métodos analíticos, además, de que resulta crucial implementar medidas preventivas y de control en toda la cadena alimentaria para minimizar el riesgo de contaminación.

9. Referencias

1. Abraham, N., Chan, E. T. S., Zhou, T., & Seah, S. Y. K. (2022). Microbial detoxification of mycotoxins in food. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 13). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.957148>
2. Abulaizi, A., Wang, R., Xiong, Z., Zhang, S., Li, Y., Ge, H., & Guo, Z. (2024). Secondary



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

- Metabolites with Agricultural Antagonistic Potential from *Aspergillus* sp. ITBBc1, a Coral-Associated Marine Fungus. *Marine Drugs*, 22(6), 270. <https://doi.org/10.3390/md22060270>
- Alshannaq, A., & Yu, J. H. (2017). Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 14, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060632>
 - Billones, R. K. C., Calilung, E. J., Dadios, E. P., & Santiago, N. (2020, December 3). *Aspergillus* Species Fungi Identification Using Microscopic Scale Images. *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management, HNICEM 2020*. <https://doi.org/10.1109/HNICEM51456.2020.9400039>
 - Demjanová, S., Jevinová, P., Pipová, M., & Regecová, I. (2021). Identification of *penicillium verrucosum*, *penicillium commune*, and *penicillium crustosum* isolated from chicken eggs. *Processes*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/pr9010053>
 - FAO. (2024a). *Cultivos y productos de ganadería*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
 - FAO. (2024b). *Micotoxinas*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.fao.org/food/food-safety-quality/a-z-index/mycotoxins/es/>
 - Geng, L., Li, M., Zhang, G., & Ye, L. (2022). Barley: a potential cereal for producing healthy and functional foods. In *Food Quality and Safety* (Vol. 6). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac012>
 - Gómez-Ayala, A. E. (2007). Alimentos y micotoxinas: Implicaciones en la seguridad alimentaria. *Farmacia Profesional*, 21, 49–53.
 - González-Peñas, E. (2020). Mycotoxins in beverages. In *Beverages* (Vol. 6, Issue 4, pp. 1–3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/beverages6040069>
 - Habschied, K., Kanižai Šarić, G., Krstanović, V., & Mastanjević, K. (2021). Mycotoxins—Biomonitoring and Human Exposure. In *Toxins* (Vol. 13, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/TOXINS13020113>
 - INEGI. (2023, November 21). *Resultados definitivos del censo agropecuario 2022 en el estado de Hidalgo*. Censo Agropecuario.
 - Juraschek, L. M., Kappenberg, A., & Amelung, W. (2022). Mycotoxins in soil and environment. In *Science of the Total Environment* (Vol. 814). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152425>
 - Keřińska-Pacelik, J., & Biel, W. (2021). Alimentary risk of mycotoxins for humans and animals. In *Toxins* (Vol. 13, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/toxins13110822>
 - Krishnan, S. V., Nampoothiri, K. M., Suresh, A., Linh, N. T., Balakumaran, P. A., Pócsi, I., & Pusztahelyi, T. (2023). *Fusarium* biocontrol: antagonism and mycotoxin elimination by lactic acid bacteria. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 14). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.126016>
 - Lamenca-Palacio, V. (2015). *Análisis de micotoxinas en cereales mediante técnicas instrumentales*. Universidad Zaragoza.



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

17. Lindsay, C. A., Kinghorn, A. D., & Rakotondraibe, H. L. (2023). Bioactive and unusual steroids from *Penicillium* fungi. *Phytochemistry*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2023.113638>
18. Lugo-Melchor, O., Alvarado-Osuna, C., & Ramírez-Cerda, E. (2017). *Inocuidad y Trazabilidad en los alimentos mexicanos* (1st ed.). CIATEJ.
19. Marrez, D. A., & Ayes, A. M. (2022). Mycotoxins: The threat to food safety. In *Egyptian Journal of Chemistry* (Vol. 65, Issue 1, pp. 353–372). NIDOC (Nat.Inform.Document.Centre). <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021.80490.3987>
20. Ocampo-Salinas, I. O. (2006). *Estudio de la microflora y contenido de aflatoxinas de cebada cultivada en Tlanalapa, Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
21. Omotayo, O. P., Omotayo, A. O., Mwanza, M., & Babalola, O. O. (2019). Prevalence of mycotoxins and their consequences on human health. In *Toxicological Research* (Vol. 35, Issue 1, pp. 1–7). Korean Society of Toxicology. <https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>
22. Pernica, M., Piacentini, K. C., Benešová, K., Čáslavský, J., & Běláková, S. (2019). Analytical techniques for determination of mycotoxins in barley, malt and beer: A review. *KVASNY PRUMYSL*, 65(2), 46–57. <https://doi.org/10.18832/kp2019.65.46>
23. Petrović, E., Čosić, J., Vrandečić, K., & Godena, S. (2023). Occurrence of mycotoxins in food and beverages. In *Journal of Central European Agriculture* (Vol. 24, Issue 1, pp. 137–150). University of Zagreb - Faculty of Agriculture. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3704>
24. Raj, R., Shams, R., Pandey, V. K., Dash, K. K., Singh, P., & Bashir, O. (2023). Barley phytochemicals and health promoting benefits: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100677>
25. Ravelo Abreu, A., Rubio Armendáriz, C., Gutiérrez Fernández, A. J., & Hardisson de la Torre, A. (2011). La ocratoxina a en alimentos de consumo humano: Revisión. In *Nutricion Hospitalaria* (Vol. 26, Issue 6, pp. 1215–1226). <https://doi.org/10.3305/nh.2011.26.6.5381>
26. Requena, R., Saume, E., & León, A. (2005). Micotoxinas: Riesgos y prevención. *Zootecnia Tropical*, 23(4). <https://www.researchgate.net/publication/262702041>
27. SADER. (2022, July 28). *Maíz, frijol, arroz y trigo, los granos básicos de México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-frijol-arroz-y-trigo-los-granos-basicos-de-mexico>
28. SAGARPA. (2016, December 10). Almacenamiento en México. *Claridades Agropecuarias*.
29. SIAP. (2017). Cebada grano mexicano. In *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257069/Potencial-Cebada.pdf>
30. Simón, M. R., & Golik, S. I. (2022). *Cereales de invierno*. Edulp.
31. Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista Chilena Infectología*, 1(1), 85–86. www.sochinf.cl
32. Yuef-Martínez, H., & Hernández-Delgado, S. (2013). The Genus *Aspergillus* and their Mycotoxins in Maize in Mexico: Problems



Artículo de Revisión

Vega-Domínguez et al., 2024

and Perspectives. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31(2), 126–146.

33. Zhu, F. (2017). Barley Starch: Composition, Structure, Properties, and Modifications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 558–579. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12265>
34. Zingales, V., Taroncher, M., Martino, P. A., Ruiz, M. J., & Caloni, F. (2022). Climate Change and Effects on Molds and Mycotoxins. In *Toxins* (Vol. 14, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/toxins14070445>