





PRESENCIA DE MICOTOXINAS Y SUS METABOLITOS, EFECTO DEL CONSUMO EN CEREALES

PRESENCE OF MYCOTOXINS AND THEIR METABOLITES, EFFECT OF CONSUMPTION IN CEREALS

	¹ Evelyn Alejandra Vargas Peralvo *	ea.vargasp@uea.edu.ec
	² Moreano Teran Nancy Fabiola	nancy.moreano@utc.edu.ec
	³ Miryam Janeth Cárdenas Bonifa	mj.cardenasb@uea.edu.ec
	⁴ Stuard Nelson Montoya Vizuete	stumontoya@gmail.com

¹ Ingeniera Agroindustrial. Técnico - Docente. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

² Investigador Universidad Técnica de Cotopaxi.

³ Universidad Estatal Amazónica.

⁴ Lissette Alexandra Lucio Toalombo.

⁴ investigador independiente.

E-mail: * ea.vargasp@uea.edu.ec

RESUMEN

Las micotoxinas representan metabolitos tóxicos secundarios producidos por diversos hongos filamentosos, entre los cuales se incluyen especies como *Fusarium*, *Penicillium*, *Drechslera*, *Aspergillus*, *Claviceps*, *Monascus*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Nigrospora* y *Trichoderma*. En particular, los hongos *Aspergillus* y *Fusarium* son considerados los principales patógenos de plantas que provocan infecciones y generan micotoxinas en cultivos destinados al consumo humano. La presente investigación tiene como objetivo determinar la presencia de micotoxinas y sus metabolitos, efecto del consumo en cereales, se realizó una investigación bibliográfica para determinar las variables que más afectan el consumo en cereales y determinar factores que se presentan como resultado en los cuales se menciona que se ha documentado una extensa variedad de más de 400 micotoxinas, y entre ellas destacan la aflatoxina, las *fumonisin*as, los tricotecenos, la *zearalenona*, la *ocratoxina A*, la *citrinina*, los alcaloides del cornezuelo del centeno y la *patulina*. Estos compuestos están estrechamente asociados con diversos trastornos de la salud tanto en humanos como en animales, y su presencia en los alimentos puede conllevar serios riesgos para la salud. Las micotoxinas y sus subproductos pueden ocasionar graves intoxicaciones agudas, resultando incluso en la muerte, además de tener efectos perjudiciales a largo plazo para la salud, como el desarrollo de cáncer y trastornos inmunosupresores

tanto en seres humanos como en animales. La presencia de micotoxinas en productos agrícolas ha adquirido relevancia a nivel mundial debido a su toxicidad para los seres vivos, así como por su impacto en el comercio internacional. Nuestra meta consiste en brindar información completa acerca de las posibles micotoxinas presentes en los granos destinados al consumo humano y su significativo impacto en la salud humana.

Palabras clave: *Micotoxinas; Riesgo; Prevención; Hongos; Alimentos.*

ABSTRACT:

Mycotoxins represent secondary toxic metabolites produced by various filamentous fungi, including species such as *Fusarium*, *Penicillium*, *Drechslera*, *Aspergillus*, *Claviceps*, *Monascus*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Nigrospora* and *Trichoderma*. In particular, *Aspergillus* and *Fusarium* fungi are considered the main plant pathogens that cause infections and generate mycotoxins in crops intended for human consumption. The objective of this research is to determine the presence of mycotoxins and their metabolites, the effect of consumption in cereals, a bibliographic research was carried out to determine the variables that most affect the consumption of cereals and determine factors that are presented as a result in

which it is mentioned A wide variety of more than 400 mycotoxins have been documented, and among them are aflatoxin, fumonisins, trichothecenes, zearalenone, ochratoxin A, citrinin, ergot alkaloids and patulin. These compounds are closely associated with various health disorders in both humans and animals, and their presence in foods can carry serious health risks. Mycotoxins and their byproducts can cause serious acute poisoning, even resulting in death, in addition to having long-term detrimental health effects, such as the development of cancer and immunosuppressive disorders in both humans and animals. The presence of mycotoxins in agricultural products has acquired relevance worldwide due to their toxicity for living beings, as well as their impact on international trade. Our goal is to provide complete information about the possible mycotoxins present in grains intended for human consumption and their significant impact on human health.

Keywords: *Mycotoxins; Risk; Prevention; Fungus; Food.*

1. INTRODUCCIÓN

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por ciertas especies de hongos que pueden contaminar una amplia variedad de alimentos, incluidos los cereales. Estos compuestos químicos representan una seria preocupación para la seguridad alimentaria y la salud humana, ya que pueden tener efectos perjudiciales en el consumidor y en los animales que se alimentan con estos productos contaminados. Diversos estudios han demostrado que las micotoxinas pueden tener un impacto negativo en la salud, tanto a corto como a largo plazo, y se han relacionado con una serie de enfermedades y trastornos, incluidos efectos tóxicos en órganos como el hígado, los riñones y el sistema nervioso (1).

Durante el cultivo y almacenamiento, los granos son propensos a la contaminación por micotoxinas, y la exposición a estas toxinas es cada vez más común a nivel mundial debido a los desafíos típicos de almacenamiento, los impactos del cambio climático y la escasez de agua. Específicamente, los productos derivados de los granos suelen estar afectados por la presencia simultánea de varias micotoxinas (2).

Los mohos productores de micotoxinas crecen en numerosos alimentos, tales como cereales, frutas desecadas, frutos secos y especias. Además, algunos cereales, como el maíz, el trigo, el arroz, la cebada y la avena, son una parte esencial de la dieta humana en todo el mundo, y su cultivo y almacenamiento pueden verse

afectados por condiciones ambientales propicias para el desarrollo de hongos productores de micotoxinas. Los factores como la humedad, la temperatura y la mala gestión durante el almacenamiento pueden facilitar la proliferación de hongos y la producción de micotoxinas (3).

Entre las micotoxinas más relevantes desde la perspectiva agrícola, destacan las aflatoxinas, que han sido vinculadas con el cáncer de hígado, así como con el deterioro del crecimiento en niños y la toxicosis aguda. Las fumonisinas, por su parte, han sido asociadas con el cáncer de esófago y defectos del tubo neural. Asimismo, los tricotecenos, incluyendo el deoxinivalenol (DON), son inmunotóxicos y pueden causar gastroenteritis, mientras que la ocratoxina A (OTA) se ha relacionado con enfermedades renales (2).

En este contexto, es crucial comprender el impacto que las micotoxinas pueden tener en los cereales y su posible transmisión a los productos finales, así como identificar métodos eficientes de detección y control para minimizar los riesgos para la salud pública. A lo largo de las últimas décadas, se ha llevado a cabo una extensa investigación en este campo, lo que ha permitido una mejor comprensión de los tipos de micotoxinas que afectan a los cereales, así como los posibles mecanismos de toxicidad y sus efectos sobre la salud. Para abordar esta preocupación, se han establecido límites máximos de micotoxinas en los alimentos, con el objetivo de proteger la salud pública. La vigilancia y el monitoreo regular de los niveles de micotoxinas en los cereales son esenciales para garantizar la seguridad alimentaria y tomar medidas preventivas adecuadas.

2. METODOLOGÍA

En la presente investigación se revisaron documentos que aportan en el desarrollo de información que aportan y describen los principales factores y variables que influyen en los cereales destinados al consumo, se revisaron bibliográficamente documentos que presentan resultados importantes en el efecto que causan las micotoxinas.

3. RESULTADOS

I. Impacto de los factores edáficos en la contaminación por micotoxinas

La contaminación de cereales con micotoxinas es un problema importante que afecta la calidad y la

seguridad de los alimentos. Las micotoxinas son metabolitos tóxicos producidos por hongos que pueden crecer en granos y otros productos agrícolas antes, durante y después de la cosecha, así como durante su almacenamiento y transporte (5). Estas toxinas representan un riesgo para la salud humana y animal, y pueden tener efectos negativos a corto y largo plazo.

La ingestión de alimentos contaminados con micotoxinas puede ocasionar diversos problemas de salud, que van desde síntomas leves en el sistema digestivo hasta efectos más serios y crónicos, como daño en el hígado, los riñones y la supresión del sistema inmunológico (6). Algunas micotoxinas, como las aflatoxinas, son cancerígenas y se han relacionado con un mayor riesgo de desarrollar cáncer de hígado en seres humanos (7).

El papel del suelo es fundamental en la producción y crecimiento de hongos productores de micotoxinas, y diversos elementos del suelo pueden afectar la contaminación de los cereales (8). Entre estos factores se encuentran:

- 1.1 Humedad:** desempeña un papel significativo en el crecimiento y la propagación de hongos productores de micotoxinas. Los suelos con niveles elevados de humedad favorecen la aparición de estos hongos, incrementando el riesgo de contaminación en los cereales (9).
- 1.2 Temperatura:** ejerce una influencia importante en el desarrollo de hongos. Ambientes cálidos pueden estimular el crecimiento de estos organismos y, por ende, aumentar la producción de micotoxinas en los cereales (10).
- 1.3 Contenido de nutrientes:** afecta la competencia entre hongos y otras especies microbianas. Un desequilibrio nutricional puede favorecer el crecimiento de hongos productores de micotoxinas (11).
- 1.4 pH:** influye en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad microbiana. Algunos hongos productores de micotoxinas prosperan en suelos ácidos o alcalinos (12).
- 1.5 Contaminación:** incrementar el riesgo de contaminación en los cereales cultivados en ese entorno (13).
- 1.6 Manejo agronómico:** desempeña un papel crucial en la presencia de hongos productores de micotoxinas en el suelo y, por ende, en la

contaminación de los cereales. Prácticas como la rotación de cultivos, el uso de fungicidas y una cosecha adecuada pueden tener un impacto en esta problemática (14).

II. Contaminación por *Aspergillus* y micotoxinas derivadas

La presencia de *Aspergillus* en los cereales y las micotoxinas que producen constituye una preocupación significativa en cuanto a la seguridad alimentaria y la calidad de los productos Según (15). *Aspergillus* es un género de hongos ampliamente distribuido en el medio ambiente, y algunas de sus especies tienen la capacidad de generar micotoxinas, que son compuestos tóxicos secundarios (16). En el caso de cereales como maíz, trigo, arroz y otros granos, la contaminación por *Aspergillus* puede ocurrir durante el cultivo en el campo o durante el almacenamiento posterior a la cosecha, especialmente bajo condiciones de alta humedad y temperatura (17).

2.1 Aflatoxinas

Las aflatoxinas, son un grupo de micotoxinas altamente tóxicas producidas por hongos como *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*, representan un grave riesgo para la salud humana y animal debido a su potencial carcinogénico (18). A las micotoxinas se consideran extremadamente peligrosas debido a su potencial carcinogénico y su impacto negativo en la salud de seres humanos y animales (19). Los cereales, como el maíz, el trigo, el arroz, los cacahuets (maní) y otros granos, pueden contaminarse con aflatoxinas, esta contaminación puede ocurrir tanto durante el crecimiento y almacenamiento de los cultivos, como en las etapas posteriores a la cosecha si las condiciones favorecen el desarrollo de los hongos productores de aflatoxinas (20).

2.2 Ocratoxinas

Las ocratoxinas son un conjunto de toxinas producidas por ciertos tipos de hongos, especialmente por especies de *Aspergillus* y *Penicillium*. Entre las ocratoxinas más comunes se encuentran la ocratoxina A (OTA), la ocratoxina B (OTB), la ocratoxina C (OTC) y la ocratoxina α (OT α) (21).

Estas toxinas pueden contaminar distintos alimentos, incluyendo cereales como el maíz, el trigo, la cebada, el arroz y otros granos (22). La contaminación puede ocurrir durante diversas etapas, desde el cultivo hasta el almacenamiento y procesamiento de los cereales, especialmente bajo condiciones de alta humedad y

temperaturas moderadas (23). Consumo de cereales contaminados con ocratoxinas puede tener efectos negativos en la salud tanto humana como animal (24), el. La ocratoxina A es especialmente preocupante, ya que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la ha clasificado como posiblemente carcinogénica para los seres humanos. Además, estas toxinas se han asociado con problemas renales, daño renal e incluso se han vinculado con la enfermedad nefropatía endémica de los Balcanes en seres humanos (25).

III. Contaminación causada por *Fusarium* y micotoxinas derivadas

El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas (26). Debido a su capacidad de crecer a 37°C, son considerados oportunistas. El *Fusarium verticillioides* además de causar enfermedades a las plantas, daña la salud humana a través de micotoxinas cancerígenas y fusariosis potencialmente mortales (27),.

Los análisis comparativos han revelado que el genoma de *Fusarium* está compartimentado en regiones responsables del metabolismo primario y la reproducción (genoma central) y la virulencia del patógeno, la especialización del huésped y posiblemente otras funciones (genoma adaptativo) (28).

Son importantes patógenos de plantas y causan diversas enfermedades en los granos de cereal. El tizón de la espiga por *Fusarium* (FHB), causado por *Fusarium graminearum*, es una de las enfermedades del trigo más destructivas en todo el mundo.

3.1 Fumonisinias

Las fumonisinias, producidas por *F. verticillioides* y *F. proliferatum*, se han identificado en necropsias de equinos con leucoencefalomalacia, en porcinos con edema pulmonar y en humanos con cáncer esofágico y hepatocarcinomas celular. (29).

Las fumonisinias se producen debido a estos dos grupos de factores: Factores no biológicos y Factores biológicos. Cabe recalcar, que el consumo de cualquier alimento que esté contaminado por esta toxina provocará diferentes enfermedades en animales y humanos (30).

Existen 15 tipos de fumonisinias agrupadas en cuatro categorías (A, B, C, P); siendo las más conocidas

FB1, FB2 y FB3, de las cuales FB1 es la más tóxica y representa aproximadamente 70 % de la fumonisinina total.

Las más comunes son la fumonisinina B1 (FB1) y la fumonisinina B2 (FB2) (31).

- FB1 es un carcinógeno potente en animales de laboratorio y se sospecha que causa cáncer de esófago en humanos.
- FB2 Es estructuralmente similar a la FB1, pero es menos estudiada, sin embargo, se la ha relacionado con algunas enfermedades animales.

3.2 Tricotecenos (TCT) y deoxinivalenol (DON)

3.2.1 Tricotecenos (TCT)

Los tricotecenos son metabolitos sesquiterpenoides, biológicamente activos, de bajo peso molecular y de elevada termoestabilidad. Son producidos por el género *Fusarium* pueden ser clasificados en dos tipos:

- **TIPO A:** Caracterizado por poseer en el C-8 un grupo funcional distinto de una cetona. Estos incluyen al diacetoxiscirpenol (DAS), al monoacetoxiscirpenol (MAS), al T-2 y al HT-2, entre otros.
- **TIPO B:** Caracterizado por poseer una cetona como grupo funcional en el C-8. Este tipo comprenden deoxinivalenol (DON), 3 acetil- DON (3-ADON), 15 acetil-DON (15-ADON); nivalenol (NIV); fusarenona-X (FUS), y otros (32).

Sin embargo los tricotecenos se pueden dividir en cuatro tipos: A (toxinas T-2 y HT-2, diacetoxiscirpenol), B (desoxinivalenol, nivalenol), C y D, y estos son los grupos químicos principales y más diversos de las tres clases principales defusariummicotoxinas (33).

El tipo y la cantidad de micotoxinas producidas por una especie fúngica pueden variar de un año a otro, dependiendo fundamentalmente de los factores ambientales, de los cultivos y del almacenamiento.

3.2.2 Deoxinivalenol (DON)

El tricoteceno de tipo B (desoxinivalenol) es producido por; estas *Fusarium graminearum* y *Fusarium culmorum* especies productoras de micotoxinas se encuentran en el trigo, el centeno, la cebada y la avena. El deoxinivalenol se divide en cinco tipos (desoxinivalenol, 15-acetildeoxinivalenol, 3-acetildeoxinivalenol, fusarenon-X y nivalenol) (33).

Con frecuencia, los cereales pueden estar contaminados con micotoxinas, entre las que se encuentra el deoxinivalenol (DON). Este puede dañar la salud animal: por reducción en el consumo de alimento y en la ganancia en peso, alteración del sistema inmune, entre otros efectos adversos.

El deoxinivalenol (DON) es una de las micotoxinas más comunes detectadas en cereales y productos a base de cereales. Pertenece a la familia de los tricotecenos del grupo B, producido principalmente por *Fusarium graminearum*, *F. Culmorum* y *F. Crookwellense*. Una vez ingerido, el DON se absorbe rápidamente y llega al intestino, su principal diana, desarrollando lesiones intestinales, alterando la proliferación y diferenciación celular e interfiriendo en la función de la barrera epitelial (34).

Es uno de los tricotecenos más abundantes e importantes en alimentos y piensos, y es un contaminante importante debido a su frecuente presencia en concentraciones toxicológicamente relevantes en todo el mundo. La exposición a esta toxina es un riesgo permanente para la salud tanto de humanos como de animales de granja (35).

3.3 Zearalenona

La zearalenona es una micotoxina que tiene una estructura de lactona estrogénica; tienen suficiente similitud estructural y estos sintetizados por varios *Fusarium* especies - *F. graminearum*, *F. culmorum* y *F. crookwellense*. La zearalenona se encuentra en los cereales, principalmente el maíz, y en los alimentos procesados, y estos son una micotoxina no altamente tóxica (33).

La zearalenona es un compuesto estable, tanto durante el almacenamiento/molienda como durante el procesamiento/cocción de los alimentos, y no se degrada a altas temperaturas. Los estudios del metabolismo indican que la zearalenona se absorbe con bastante rapidez después de la administración oral, con la formación de alfa y beta-zearalenol y alfa y alfa-zearalanol, que posteriormente se conjugan con ácido glucurónico (36).

Se ha confirmado la presencia de zearalenona por cromatografía líquida de alta resolución con detector de fluorescencia. Esta prueba se lo realizó por cromatografía de gases con detector de ionización de llama.

IV. Contaminación causada por *Penicillium* y micotoxinas derivadas

Los cereales, frutos secos y sus derivados son alimentos altamente propensos a acumular toxinas producidas por hongos. Debido a su bajo contenido de agua, estas micotoxinas pueden mantenerse y conservarse en estos alimentos. Cuando las condiciones de cultivo o almacenamiento no son óptimas, los mohos pueden generar toxinas, que, al ser ingeridas por los consumidores, pueden dar lugar a lo que se conoce como micotoxicosis primaria (37).

Es conocido que *Aspergillus* y *Penicillium* son microorganismos patógenos oportunistas que tienden a multiplicarse, sobre todo, durante el periodo de almacenamiento poscosecha. Además, estos hongos también tienen un papel relevante en la agricultura debido a que ciertas especies de estos géneros producen metabolitos conocidos como micotoxinas, las cuales representan un riesgo para la salud humana y pueden afectar negativamente la productividad del ganado (38).

En ocasiones, los alimentos destinados al consumo humano o animal sirven de hábitat para diferentes especies de *Penicillium spp.* Algunas de estas especies son consideradas patógenas para frutas y verduras frescas, especialmente dentro de los subgéneros *Penicillium* y *Biverticillium*, así como para ciertas variedades de cereales en el subgénero *Penicillium*. Por lo tanto, ciertas especies de *Penicillium* tienen asociaciones específicas con ciertos alimentos, lo que permite realizar identificaciones presuntivas.

4.1 Citrinina (CTN)

La presencia de la micotoxina citrinina, que puede contaminar los alimentos, representa una seria preocupación a nivel mundial. Esta toxina se considera un contaminante inevitable en alimentos y piensos, dado que los hongos están ampliamente presentes en el medio ambiente. Los substratos más comúnmente afectados por la citrinina incluyen maíz, cebada, centeno, trigo, avena, arroz, soja, legumbres y productos derivados de estas materias primas (39).

La Citrinina es una toxina natural producida por diversos hongos como *Penicillium*, *Aspergillus* y *Monascus*. Se desarrolla en condiciones de almacenamiento deficientes después de la cosecha y suele encontrarse junto a la ocratoxina. Esta micotoxina puede manifestarse en alimentos como alubias, frutas, aceitunas, hierbas y especias. Es común en el arroz rojo fermentado con hongos tipo moho, utilizado en

Asia como conservante y colorante alimentario.

4.2 Patulina (PAT)

La patulina, una toxina producida principalmente por hongos de los géneros *Penicillium* (*P. expansum*, *P. claviforme*, *P. patulum* y *P. vulpinum*) y *Aspergillus* (*A. clavatus* y *A. terreus*), está estrechamente relacionada con manzanas en descomposición. Puede encontrarse en alimentos para animales, así como en frutas y verduras destinadas al consumo humano, siendo el mayor riesgo en la elaboración de jugos con frutas en mal estado. Aunque se necesitan dosis grandes para intoxicaciones en humanos y animales, en aves, la patulina actúa como neurotoxina, provocando síntomas como falta de coordinación, temblores, parálisis y debilidad, afectando significativamente a mamíferos (40).

Aunque la patulina no se considera extremadamente perjudicial, estudios han detectado efectos genotóxicos, indicando un potencial mutagénico o carcinogénico. La cantidad de patulina en productos derivados de la manzana se utiliza como indicador de la calidad de las manzanas en la producción de alimentos.

V. Contaminación causada por *Claviceps* y micotoxinas derivadas

Claviceps también conocida como Cornezuelo del Centeno, es una esponja de Ascomycota de la familia Clavicipitaceae. Los parásitos de parásitos son principalmente grano, principalmente centeno. Es un hongo específicamente un moho capaz de crear micotoxinas las cuales causan graves efectos en la salud cuando se llega a ingerir por lapsos prolongados de tiempo (41).

Viven en una amplia variedad de forrajes: raigrás, mijo, avena, trigo, centeno, miel, residuos de semillas, cereales, pastos maduros y maduros, ensilaje y heno (42).

Dado que la ray grass es un forraje ampliamente utilizado en la región pampeana húmeda, la mayoría de las intoxicaciones ocurren con esta gramínea.

5.1 Toxinas

El cornezuelo de centeno produce varios compuestos diferentes, los más importantes de los cuales son los alcaloides de la ergolina, como la:

- Ergotamina (18%),
- Ergosina (12%)
- Ergocristina (15%),
- Ergometrina (11%).

Estos compuestos tienen un espectro muy complejo de efectos farmacológicos, incluidos efectos vasoconstrictores sobre el sistema circulatorio y efectos sobre la transmisión de impulsos nerviosos. Actúan sobre los receptores de dopamina y serotonina (43).

5.2 Enfermedades que ocasiona

Los compuestos producidos por el cereal negro tienen efectos graves en el cuerpo humano, incluidas sus propiedades alucinógenas, que pueden causar alteraciones en la conciencia. Los científicos han atribuido la actitud violenta y la guerra de los vikingos al envenenamiento por comer centeno infectado con centeno negro. Los historiadores también han atribuido los famosos juicios de brujas de Salem al envenenamiento accidental de granos negros. En la Edad Media, a menudo ocurrían envenenamientos masivos por comer pan de centeno contaminado (44).

La exposición a sus metabolitos tóxicos puede causar:

Los principales mecanismos de estas manifestaciones son el estrés oxidativo y la genotoxicidad inducida por micotoxinas (44).

La exposición a sus metabolitos tóxicos puede causar:

- Carcinogenicidad
- Teratogenicidad
- Inmunosupresión
- Manifestaciones clínicas de neurotoxicidad
- Nefrotoxicidad
- Hepatotoxicidad
- Mielotoxicidad
- Toxicidad pulmonar
- Toxicidad endocrina

Los principales mecanismos de estas manifestaciones son el estrés oxidativo y la genotoxicidad inducida por micotoxinas (44).

VI. Métodos de prevención de micotoxinas

6.1 Aplicación de levadura para el control biológico de micotoxinas

Los volátiles de *Cyberlindnera jadinii* (una levadura antagonista) inhibieron significativamente el crecimiento y la propagación de las cepas de *A. parasiticus*, *A. niger* y *P. verrucosum*. Estos hallazgos sugieren la presencia de hongos toxigénicos y

micotoxinas en los cereales comercializados y las actividades de biocontrol de *Cyberlindnera jadinii* contra hongos toxigénicos, que potencialmente pueden reemplazar la aplicación de fungicidas sintéticos en la agricultura y la industria alimentaria (45).

6.2 Métodos más comunes de prevención

6.2.1 Cultivo del alimento

Deben seleccionar más claramente la variedad menos propensa a ser infectada con los hongos que producen con micotoxinas. Se deben controlar las plagas con insecticidas para evitar un contagio directo. Se deben rotar los cultivos para evitar que el moho se adapte a un solo tipo de cultivo (46).

Se debe tener en cuenta claramente el tiempo de cosecha para evitar la contaminación por humedad, el procedimiento y la limpieza con la que se realice la recolección también cuenta suficientemente con los estándares para evitar generar condiciones de vida del moho (47).

6.2.2 Almacenamiento, transporte y distribución

Dentro del almacenamiento también se deben controlar los insectos ya que estos fungen como portadores.

Dentro de las instalaciones se deben controlar los factores de humedad y temperatura además de tener siempre la higiene correspondiente.

VII. Tratamientos de los alimentos contaminados

7.1. Métodos físicos de eliminación

Los tratamientos más usados en la industria son:

7.1.1. Limpieza y separación

Los granos infectados se pueden separar manualmente y por métodos de flotación gracias a que la densidad de los granos infectados cambia unos claros ejemplos de esto son el maíz y el maní (41).

El defecto de este método es que no es efectivo al cien por ciento lo que lo hace menos eficaz en caso de que haber infección (41).

7.1.2 Molienda húmeda

La aflatoxina y la zearalenona se concentran más en las aguas residuales de lavado y en la fibra de esta, de la molienda que en el mismo almidón resultante por lo

tanto es un método bastante útil para la obtención de un almidón más limpio (48).

7.2. Métodos físicos de detoxificación

7.2.1 Desactivación térmica

Como es de conocimiento las micotoxinas son resistentes a altas temperaturas lo que significa que resisten cocción, auto clavado u otros procesos térmicos. Existen ciertas excepciones como el de la aflatoxina la que se destruye cuando es expuesta aceite hirviendo como en las frituras lo que ha sido probado en maní, otra buena opción es el tostado en el microondas (49).

7.3. Absorción

Este es uno de los sistemas más utilizados por excelencia en la elaboración de piensos animales. Actúan de manera que los absorbentes pueden unirse a las micotoxinas presentes en el pienso contaminado y quedarse así mientras es digerido hasta la eliminación de las heces fecales (50).

Los principales agentes absorbentes son:

- Carbón activado
- Silicatos aluminio, calcio, sodio, hidratados, (HSCAS) son un tipo de silicatos que se utilizan como adsorbentes de micotoxinas en la alimentación animal.
- Asociaciones mixtas de entre silicatos y compuestos orgánicos
- Paredes celulares de levaduras

7.4. Biotransformación

Este es un método de desactivación de micotoxinas y convierte las toxinas en metabolitos que no son peligrosos. Este proceso consiste en usar bacterias enzimáticas especializadas en alimentarse de micotoxinas este método está comprobado y autorizado por la unión europea (51).

4. DISCUSIÓN

En relación a las especies de hongos que más comúnmente producen micotoxinas, se observó que *Penicillium spp.* y *Alternaria spp.* fueron las más frecuentes en muestras de trigo sarraceno. En cuanto a las muestras de quinua, las especies fúngicas más

reportadas fueron *Penicillium spp.* y *Aspergillus spp.*, mientras que, en los granos de amaranto, se detectaron *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.* y *Fusarium spp.*, resaltando la presencia de contaminación por especies de *Fusarium* (3).

Las micotoxinas tricotecenos y aflatoxinas son sustancias contaminantes de origen natural, producidas por hongos filamentosos y que se encuentran comúnmente en el trigo. Su presencia en este cereal representa una preocupación significativa para la salud pública, ya que estas moléculas son altamente estables durante los procesos industriales a los que el trigo es sometido para obtener sus derivados, y, además, pueden ocasionar efectos tóxicos perjudiciales para la salud.

En un estudio llevado a cabo, se observó un incremento significativo en la contaminación de micotoxinas en los granos de quinua, con un porcentaje que varió del 0.8% al 3.2%, tal como se muestra en la tabla 1. Este aumento en los niveles de micotoxinas se registró en un lapso de tan solo dos años, aunque no se proporcionó información específica sobre los años más recientes. Es relevante destacar que las micotoxinas más frecuentemente encontradas durante los años 2012 al 2014 fueron la aflatoxina, fumonisina, zearalenona y la ocratoxina A (53).

Presencia de micotoxinas en Quinua			
Año	Porcentaje de micotoxinas en quinua (%)	Micotoxinas encontradas	Referencia
2011	0,0	No declara	
2012	0,8	Aflatoxina, fumonisina	(Peñafiel, 2022)
2013	2,2		
2014	3,2	Zearalenona y Ocratoxina A	

Nota. Elaborado por: Navas, S. 2023

En esta revisión, se examina la existencia de micotoxinas en diversos cereales y los riesgos vinculados a su consumo, subrayando la relevancia de mantener una vigilancia continua de los niveles de micotoxinas presentes en los granos, así como la imperiosa necesidad de aplicar medidas preventivas durante todas las fases de producción y almacenamiento con el fin de asegurar la inocuidad alimentaria (53).

En este estudio analizan los efectos de las micotoxinas tanto en la salud humana como en la producción animal. Examinan cómo estas sustancias pueden tener repercusiones en el sistema inmunológico, el hígado, el sistema nervioso central y otros órganos. Asimismo, enfatizan que la presencia de micotoxinas en cereales

puede ocasionar pérdidas económicas importantes en la industria ganadera (54).

Al examinar las tácticas y procedimientos para evitar y gestionar la contaminación de micotoxinas en cereales destinados tanto al consumo humano como animal. Abordan temas relacionados con prácticas agrícolas seguras, almacenamiento adecuado y tecnologías destinadas a detectar y eliminar las micotoxinas (55).

5. CONCLUSIONES

Para prevenir la presencia de micotoxinas en alimentos, se deben implementar diversas medidas, como la selección de agentes resistentes a hongos, el control de insectos y plagas, la fertilización y rotación adecuadas de cultivos, la cosecha en el momento óptimo, y un correcto manejo de secado y almacenamiento. En el transporte, es crucial mantener condiciones de sequedad y limpieza. En caso de contaminación, se pueden aplicar métodos físicos, químicos o fungistáticos para inhibir o eliminar las micotoxinas.

Para prevenir efectos negativos en animales, se pueden utilizar detoxificantes enzimáticos como FINTOX o agentes como el ozono, que reduce las moléculas de micotoxinas, convirtiéndolas en sustancias no peligrosas. Los filtros de carbón activo también son útiles para eliminar micotoxinas del aire. Es importante destacar que las micotoxinas se descomponen y pierden toxicidad con el tiempo.

Dado que las micotoxinas representan un riesgo grave para la salud, al contaminar alimentos como cereales, pueden causar intoxicaciones, enfermedades hepáticas, trastornos neurológicos y efectos cancerígenos. Por tanto, es fundamental aplicar medidas preventivas en todas las etapas de la cadena alimentaria para garantizar la seguridad de los productos derivados de cereales y proteger la salud de los consumidores.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. OMS. (2018, May 9). Micotoxinas.
2. Wu, F., Groopman, J. D., & Pestka, J. J. (2014). Public Health Impacts of Foodborne Mycotoxins. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 351–372. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092431>
3. Vila-López, M. V., Pallarés, N., Ferrer, E., & Tolsa, J. (2023). Mycotoxin Determination and Occurrence in Pseudo-Cereals Intended for Food and

- Feed: A Review. *Toxins*, 15(6), 379. <https://doi.org/10.3390/toxins15060379>
4. Richard, J. L. (2007). Some major mycotoxins and their mycotoxicoses—An overview. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.019>
 5. Battilani, P., Toscano, P., Van der Fels-Klerx, H. J., Moretti, A., Camardo Leggieri, M., Brera, C., Rortais, A., Goumperis, T., & Robinson, T. (2016). Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports*, 6(1), 24328. <https://doi.org/10.1038/srep24328>
 6. Yu, M.-H., Pang, Y.-H., Yang, C., Liao, J.-W., & Shen, X.-F. (2023). Electrochemical oxidation diminished toxicity of zearalenone significantly, while reduction increased. *Food Chemistry*, 429, 136768. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136768>
 7. Teixido-Orries, I., Molino, F., Femenias, A., Ramos, A. J., & Marín, S. (2023). Quantification and classification of deoxynivalenol-contaminated oat samples by near-infrared hyperspectral imaging. *Food Chemistry*, 417, 135924. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135924>
 8. Hobé, R. G., van Asselt, E. D., van den Heuvel, L., Hoek-van den Hil, E. F., & van der Fels-Klerx, H. J. (2023b). Methodology for risk-based monitoring of contaminants in food – A case study in cereals and fish. *Food Research International*, 168, 112791. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112791>
 9. Köprücü, Y., & Acaroğlu, H. (2023). How cereal yield is influenced by eco-environmental factors? ARDL and spectral causality analysis for Turkey. *Cleaner Environmental Systems*, 10, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100128>
 10. DeFries, R., Liang, S., Chhatre, A., Davis, K. F., Ghosh, S., Rao, N. D., & Singh, D. (2023). Climate resilience of dry season cereals in India. *Scientific Reports*, 13(1), 9960. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37109-w>
 11. Nath, C. P., Dutta, A., Hazra, K. K., Praharaj, C. S., Kumar, N., Singh, S. S., Singh, U., & Das, K. (2023). Long-term impact of pulses and organic amendments inclusion in cropping system on soil physical and chemical properties. *Scientific Reports*, 13(1), 6508. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33255-3>
 12. Van de Vondel, J., Janssen, F., Wouters, A. G. B., & Delcour, J. A. (2023). Air-water interfacial and foaming properties of native protein in aqueous quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) extracts: Impact of pH- and heat-induced aggregation. *Food Hydrocolloids*, 144, 108945. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108945>
 13. Sanaei Nasab, S., Zare, L., Tahmouzi, S., Nematoollahi, A., Mollakhalili-Meybodi, N., Abedi, A.-S., & Delshadian, Z. (2023). Effect of irradiation treatment on microbial, nutritional and technological characteristics of cereals: A comprehensive review. *Radiation Physics and Chemistry*, 212, 111124. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111124>
 14. Ocwa, A., Harsanyi, E., Széles, A., Holb, I. J., Szabó, S., Rátonyi, T., & Mohammed, S. (2023). A bibliographic review of climate change and fertilization as the main drivers of maize yield: implications for food security. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00419-3>
 15. Katati, B., Schoenmakers, P., Njapau, H., Kachapulula, P. W., Zwaan, B. J., van Diepeningen, A. D., & Schoustra, S. E. (2023a). Preharvest Maize Fungal Microbiome and Mycotoxin Contamination: Case of Zambia's Different Rainfall Patterns. *Applied and Environmental Microbiology*, 89(6). <https://doi.org/10.1128/aem.00078-23>
 16. N'zi, F. A.-J. A., Kouakou-Kouamé, C. A., N'guessan, F. K., Poss, C., Teyssier, C., Durand, N., & Montet, D. (2023). Occurrence of mycotoxins and microbial communities in artisanal infant flours marketed in Côte d'Ivoire. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(5), 128. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03577-5>
 17. Zanon, M. S. A., Pena, G., Yerkovich, N., Bossa, M., Chiotta, M. L., & Chulze, S. N. (2023). Aflatoxins and fumonisins in maize under a climate change scenario. Biocontrol strategies at the pre-harvest stage. *European Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02735-7>
 18. Kyei-Baffour, V. O., Ketemepi, H. K., Brew-Sam, N. N., Asiamah, E., Baffour Gyasi, L. C., & Amoah-Awua, W. K. (2023). Assessing aflatoxin safety awareness among grain and cereal sellers in greater Accra region of Ghana: A machine learning approach. *Heliyon*, 9(7), e18320. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18320>
 19. Magdalena Pisoschi, A., Iordache, F., Stanca, L., Ionescu Petcu, A., Purdoi, L., Ionut Geicu, O., Biltanu, L., & Iren Serban, A. (2023). Comprehensive overview and critical perspective on the analytical techniques applied to aflatoxin determination – A review paper. *Microchemical Journal*, 191, 108770. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.108770>
 20. Alsulami, T. (2023). Analysis of synthetic food color additive, sugar, and mycotoxin content in traditional, cereal-based Sobia beverage using hi-

- gh-performance liquid chromatography and mass spectrometry. *Journal of King Saud University - Science*, 35(6), 102736. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102736>
21. Arbillaga, L., Azqueta, A., Ezpeleta, O., & Cerain, A. L. d. (2006). Oxidative DNA damage induced by Ochratoxin A in the HK-2 human kidney cell line: evidence of the relationship with cytotoxicity. *Mutagenesis*, 22(1), 35–42. <https://doi.org/10.1093/mutage/gel049>
 22. Śniegocki, T., Raszewska-Kaczor, A., Bajer, K., Sell, B., Kozdrun, W., Giergiel, M., & Posyniak, A. (2022). A preliminary study of the poultry body weight effect of carvacrol in litter and of carvacrol residue in organ tissue of exposed chickens. *Journal of Veterinary Research*, 66(4), 613–617. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2022-0054>
 23. Li, A., Hao, W., Guan, S., Wang, J., & An, G. (2022). Mycotoxin contamination in feeds and feed materials in China in year 2020. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1016528>
 24. Karachaliou, C.-E., Koukouvinos, G., Zisis, G., Kizis, D., Krystalli, E., Siragakis, G., Goustouridis, D., Kakabakos, S., Petrou, P., Livaniou, E., & Raptis, I. (2022). Fast and Accurate Determination of Minute Ochratoxin A Levels in Cereal Flours and Wine with the Label-Free White Light Reflectance Spectroscopy Biosensing Platform. *Biosensors*, 12(10), 877. <https://doi.org/10.3390/bios12100877>
 25. Erdal, İ., & Yalçın, S. S. (2022). The relationship between ochratoxin A and blood pressure in adolescents. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 95, 103959. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103959>
 26. Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista Chilena de Infectología*, 31(1), 85–86. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012>
 27. Yao, G., Chen, W., Sun, J., Wang, X., Wang, H., Meng, T., Zhang, L., & Guo, L. (2023). Gapless genome assembly of *Fusarium verticillioides*, a filamentous fungus threatening plant and human health. *Scientific Data*, 10(1), 229. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02145-8>
 28. Ma, L.-J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F., Gardiner, D. M., Manners, J. M., & Kazan, K. (2013). *Fusarium* Pathogenomics. *Annual Review of Microbiology*, 67(1), 399–416. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
 29. Chavarri, M. C., Barroyeta, J., Ochoa Sánchez, Y. D., Rumbos Escalona, N. B., & Alezones, J. (2017). Detección de *Fusarium verticillioides* y fumonisinas en granos de maíz blanco provenientes de los estados Yaracuy y Guárico, Venezuela. *Nova Scientia*, 9(19), 171. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1035>
 30. Ahangarkani, F., Rouhi, S., & Gholamour Azizi, I. (2014). A review on incidence and toxicity of fumonisins. *Toxin Reviews*, 33(3), 95–100. <https://doi.org/10.3109/15569543.2013.871563>
 31. Mohammedi, D., Mohammedi, S., & Kardjadj, M. (2021). Prévalence des fumonisines dans les aliments pour volaille en Algérie. *Revue d'élevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux*, 74(4), 207–211. <https://doi.org/10.19182/remvt.36814>
 32. Martinez, M., Castañares, E., Dinolfo, M. I., Pacheco, W. G., Moreno, M. V., & Stenglein, S. A. (2014). Presencia de *Fusarium graminearum* en muestras de trigo destinado al consumo humano. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), 41–44. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70046-X](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70046-X)
 33. Jimenez-Garcia, S. N., Garcia-Mier, L., Garcia-Trejo, J. F., Ramirez-Gomez, X. S., Guevara-Gonzalez, R. G., & Feregrino-Perez, A. A. (2018). *Fusarium* Mycotoxins and Metabolites that Modulate Their Production. In *Fusarium - Plant Diseases, Pathogen Diversity, Genetic Diversity, Resistance and Molecular Markers*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72874>
 34. Narváez, A., Castaldo, L., Izzo, L., Pallarés, N., Rodríguez-Carrasco, Y., & Ritieni, A. (2022). Deoxynivalenol contamination in cereal-based foodstuffs from Spain: Systematic review and meta-analysis approach for exposure assessment. *Food Control*, 132, 108521. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108521>
 35. Awad, W. A., Ghareeb, K., Böhm, J., & Zentek, J. (2010). Decontamination and detoxification strategies for the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol in animal feed and the effectiveness of microbial biodegradation. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 27(4), 510–520. <https://doi.org/10.1080/19440040903571747>
 36. Gajecki, M. (2002). Zearalenone--undesirable substances in feed. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 5(2), 117–122.
 37. Gómez, A. (2007). Alimentos y micotoxinas Implicaciones en la seguridad alimentaria.
 38. Katati, B., Schoenmakers, P., Njapau, H., Kachapulula, P. W., Zwaan, B. J., van Diepeningen, A. D., & Schoustra, S. E. (2023b). Preharvest Maize Fungal Microbiome and Mycotoxin Contamination: Case

- of Zambia's Different Rainfall Patterns. *Applied and Environmental Microbiology*, 89(6). <https://doi.org/10.1128/aem.00078-23>
39. Zargar, S., & Wani, T. A. (2023). Food Toxicity of Mycotoxin Citrinin and Molecular Mechanisms of Its Potential Toxicity Effects through the Implicated Targets Predicted by Computer-Aided Multidimensional Data Analysis. *Life*, 13(4), 880. <https://doi.org/10.3390/life13040880>
 40. San, V. ", Mártir, V., Valencia, ", Castañeda Sánchez, R., Chirivella Martorell, J., & Carbonell Baldoví, E. (2012). Micotoxicosis derivadas de la nutrición animal. Revisión del tema.
 41. Piquemal, R., Emmerich, J., Guilmot, J. L., & Fiesinger, J. N. (1998). Successful Treatment of Ergotism with Iloprost. *Angiology*, 49(6), 493-497. <https://doi.org/10.1177/000331979804900612>
 42. Límite legal. (n.d.).
 43. Correia, T., Grammel, N., Ortel, I., Keller, U., & Tuzdzinski, P. (2003). Molecular Cloning and Analysis of the Ergopeptide Assembly System in the Ergot Fungus *Claviceps purpurea*. *Chemistry & Biology*, 10(12), 1281-1292. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2003.11.013>
 44. Tricotecenos, F. (2015). Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. 29(1).
 45. Alkuwari, A., Hassan, Z. U., Zeidan, R., Al-Thani, R., & Jaoua, S. (2022). Occurrence of Mycotoxins and Toxigenic Fungi in Cereals and Application of Yeast Volatiles for Their Biological Control. *Toxins*, 14(6), 404. <https://doi.org/10.3390/toxins14060404>
 46. Kumar, P., Mahato, D. K., Gupta, A., Pandey, S., Paul, V., Saurabh, V., Pandey, A. K., Selvakumar, R., Barua, S., Kapri, M., Kumar, M., Kaur, C., Tripathi, A. D., Gamlath, S., Kamle, M., Varzakas, T., & Agriopoulou, S. (2022). Nivalenol Mycotoxin Concerns in Foods: An Overview on Occurrence, Impact on Human and Animal Health and Its Detection and Management Strategies. *Toxins*, 14(8), 527. <https://doi.org/10.3390/toxins14080527>
 47. Richard-Forget, F., Atanasova, V., & Chéreau, S. (2021). Using metabolomics to guide strategies to tackle the issue of the contamination of food and feed with mycotoxins: A review of the literature with specific focus on *Fusarium* mycotoxins. *Food Control*, 121, 107610. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107610>
 48. Mir, S. A., Dar, B. N., Shah, M. A., Sofi, S. A., Hamdani, A. M., Oliveira, C. A. F., Hashemi Moosavi, M., Mousavi Khaneghah, A., & Sant'Ana, A. S. (2021). Application of new technologies in decontamination of mycotoxins in cereal grains: Challenges, and perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 148, 111976. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111976>
 49. Azam, Md. S., Ahmed, S., Islam, Md. N., Maitra, P., Islam, Md. M., & Yu, D. (2021). Critical Assessment of Mycotoxins in Beverages and Their Control Measures. *Toxins*, 13(5), 323. <https://doi.org/10.3390/toxins13050323>
 50. Turner, P. C., & Snyder, J. A. (2021). Development and Limitations of Exposure Biomarkers to Dietary Contaminants Mycotoxins. *Toxins*, 13(5), 314. <https://doi.org/10.3390/toxins13050314>
 51. Mousavi Khaneghah, A., Hashemi Moosavi, M., Oliveira, C. A. F., Vanin, F., & Sant'Ana, A. S. (2020). Electron beam irradiation to reduce the mycotoxin and microbial contaminations of cereal-based products: An overview. *Food and Chemical Toxicology*, 143, 111557. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111557>
 52. Peñafiel, M. (2022). Estudio de la generación de ocratoxina A en el proceso primario de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su efecto en la salud humana.
 53. Golinski, P., Chelkowski, J., Konarkowski, A., & Szebiotko, K. (1983). Mycotoxins in cereal grain. Part VI. The effect of ochratoxin A on growth and tissue residues of the mycotoxin in broiler chickens. *Food / Nahrung*, 27(3), 251-256. <https://doi.org/10.1002/food.19830270318>
 54. Miller, J. D., Schaafsma, A. W., Bhatnagar, D., Bondy, G., Carbone, I., Harris, L. J., Harrison, G., Munkvold, G. P., Oswald, I. P., Pestka, J. J., Sharpe, L., Sumarah, M. W., Tittlemier, S. A., & Zhou, T. (2014). Mycotoxins that affect the North American agri-food sector: state of the art and directions for the future. *World Mycotoxin Journal*, 7(1), 63-82. <https://doi.org/10.3920/WMJ2013.1624>
 55. Patel, H. K., Kalaria, R. K., Kahimani, M. R., Shah, G. S., & Dholakiya, B. Z. (2021). Prevention and control of mycotoxins for food safety and security of human and animal feed. In *Fungi Bio-Prospects in Sustainable Agriculture, Environment and Nano-technology* (pp. 315-345). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821734-4.00013-7>

