

**Análisis de aflatoxinas y fumonisinas, en maíz comercializado en la plaza minorista José
María Villa de Medellín, Antioquia**

Luis Enrique Castro Cardona

Asesor

Leidy Johanna Gómez Sampedro

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTIP
Ingeniería de Alimentos

2025

Agradecimientos

A todos los docentes por su paciencia, guía y entrega de conocimientos los cuales fueron fundamentales en mi formación, a mis compañeros de estudio por compartir los retos y aprendizajes durante este camino, a la compañía Porcicultores APA por facilitar los recursos de su laboratorio de control de calidad, fundamentales para llevar a cabo la parte experimental de la investigación.

Finalmente, a mis padres por el amor incondicional y apoyo durante todas las etapas de este proceso, los cuales fueron claves para alcanzar esta meta.

Resumen

Las micotoxinas son sustancias tóxicas producidas por diferentes especies de hongos como *Aspergillus* y *fusarium* presentes en los diferentes cultivos agrícolas, que al elevarse son un riesgo para la salud de animales y de humanos. Entra ellas están las fumonisinas y las aflatoxinas con alta prevalencia en los granos de maíz. Esta investigación tuvo como objetivo analizarlas en muestra de maíz amarillo y blanco adquiridas en la plaza minorista José Maria Villa en Medellín, para evaluar si los valores encontrados cumplen con los del Ministerio de Salud en las resoluciones 4506 de 2013 y 2671 de 2014, e identificar la diferencia en los niveles de micotoxinas presentes en el maíz blanco vs el amarillo. Para los análisis de las muestras se empleó la metodología de “flujo lateral (LFA)”, que consisten en ensayos inmunocromatográficos de un solo paso, para detectar la presencia y concentración de micotoxinas en diferentes matrices de alimentos. Los resultados indicaron que para los valores de aflatoxinas ninguna de las muestras estuvo por encima del límite de detección del método (1,3 ppb), para fumonisinas todas las muestras estuvieron por debajo del límite establecido por el ministerio de salud (1000 ppb), obteniendo para el maíz blanco una media de 264,8 ppb y para el amarillo 488,6 ppb, por otro lado, el análisis estadístico no evidenció diferencias significativas ($p > 0,05$). Por ello se concluye que el maíz comercializado es seguro para el consumo humano y representa un riesgo bajo para la inocuidad de los consumidores.

Palabras clave: micotoxinas, fumonisinas, aflatoxinas, maíz, seguridad alimentaria.

Abstract

Mycotoxins are toxic substances produced by different species of fungi such as *Aspergillus* and *Fusarium* present in various agricultural crops, which, when elevated, pose a risk to animal and human health. Among them are fumonisins and aflatoxins, which are highly prevalent in corn kernels. The objective of this research was to analyze them in samples of yellow and white corn purchased at the José Maria Villa retail market in Medellín, to evaluate whether the values found comply with those of the Ministry of Health in resolutions 4506 of 2013 and 2671 of 2014, and to identify the difference in the levels of mycotoxins present in white corn vs. yellow corn. For the analysis of the samples, the “lateral flow assay (LFA)” methodology was used, which consists of single-step immunochromatographic tests to detect the presence and concentration of mycotoxins in different food matrices. The results indicated that none of the samples exceeded the detection limit of the method (1.3 ppb) for aflatoxins, and all samples were below the limit established by the Ministry of Health (1000 ppb) for fumonisins, with an average of 264.8 ppb for white corn and 488.6 ppb for yellow corn. On the other hand, statistical analysis did not show significant differences ($p > 0.05$). Therefore, it is concluded that the corn sold is safe for human consumption and poses a low risk to consumer safety.

Keywords: mycotoxins, fumonisins, aflatoxins, corn, food safety.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema	11
Preguntas de Investigación	13
Justificación	14
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos.....	16
Marco Teórico.....	17
De las Micotoxinas	17
De las Aflatoxinas.....	18
De los <i>Aspergillus</i>	20
Aspergillus Flavus	20
Aspergillus Niger	21
Aspergillus Fumigatus	21
De las Fumonisinas	22
De la Fusarium.....	23
Efectos de las Aflatoxinas y Fumonisinas en la Salud	24
Del Maíz <i>Zea Mays L.</i>	27
Micotoxinas en Maíz.....	28
Maíz en Colombia.....	29
Comercio de Maíz en Antioquia.....	29
Estado de Arte.....	31

Pruebas de Flujo Lateral	34
Regulaciones Micotoxinas en Colombia.	35
Metodología	37
Mapeo Puntos de Venta Maíz en la Plaza Minorista de Medellín	37
Tamaño de la Muestra.....	37
Compra de las Muestras	37
Homogenización de las Muestras	38
Preparación de las Muestras de Maíz.....	38
Extracción de Aflatoxinas.....	39
Medición de Aflatoxinas Totales	39
Extracción de Fumonisinias	39
Medición de Fumonisinias Totales	40
Análisis Estadístico.....	40
Resultados y Discusión.....	41
Exploración Puntos de Venta de la Plaza Minorista.....	41
Contenido de Aflatoxinas en Muestras de Maíz de la Plaza Minorista.	41
Contenido de Fumonisinias en Muestras de Maíz de la Plaza Minorista	44
Diferencia entre Maíz Amarillo y Maíz Blanco.	46
Conclusiones.....	49
Referencias Bibliográficas	50

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Fumonisinias y Aflatoxinas con sus Hongos Productores</i>	18
Tabla 2 <i>Principales Micotoxinas junto con su Mecanismo de Acción</i>	26
Tabla 3 <i>Micotoxinas en Diferentes Materias Primas</i>	31
Tabla 4 <i>Resultados de Aflatoxinas en Maíz de la Minorista</i>	42
Tabla 5 <i>ANOVA para Fumonisinias (ppb) por Color Maíz</i>	47
Tabla 6 <i>Resumen Estadístico para Fumonisinias</i>	47

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Método de Conos y Cuartos</i>	38
Figura 2 <i>Mapa Planta Superior Plaza Minorista José Maria Villa</i>	41
Figura 3 <i>Resultados de Aflatoxinas en Maíz vs Límite Permitido</i>	43
Figura 4 <i>Resultados de Fumonisinias en Maíz vs Límite Permitido</i>	44
Figura 5 <i>Medias y 95% de Fisher LSD</i>	48

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Resultados Aflatoxinas</i>	58
Apéndice B <i>Resultados Fumonisinias</i>	60
Apéndice C <i>Registro Fotográfico Muestras de Maíz</i>	62
Apéndice D <i>Kit de Fumonisinias para Análisis de Flujo Lateral</i>	63
Apéndice E <i>Instrumentos Utilizados</i>	64

Introducción

El maíz, conocido como *Zea Mays*, es uno de los granos más antiguos y significativos para las comunidades locales y el sistema alimentario global. En el año 2022, se generaron 1,1 mil millones de toneladas, posicionándolo como el cereal más fundamental del planeta, por encima del trigo y del arroz (Statista, 2023).

En Colombia, el maíz es un elemento esencial en la alimentación de las familias y se usa como componente en diversos otros alimentos y productos. Durante 2022, la cosecha de maíz llegó a 1,7 millones de toneladas, lo que significa un aumento del 5% en comparación con el año previo, posicionando a Colombia como el quinto país productor de maíz en toda América Latina y el Caribe. No obstante, es relevante mencionar que aproximadamente el 80% del maíz que se consume en el país es importado, lo que hace de Colombia el principal importador de este grano en Sudamérica y el séptimo en todo el mundo (Izquierdo, 2023).

En el maíz existen diferentes contaminantes entre los cuales prevalecen las micotoxinas, que son metabolitos tóxicos producidos por los hongos, que generan diferentes toxinas con efectos negativos, tanto para la salud humana, como para la salud animal, la contaminación por hongos se puede dar en los diferentes procesos desde la semilla, pasando por la cosecha y finalizando en el almacenamiento, en la presente investigación se optó por analizar los niveles de aflatoxinas y fumonisinas en el maíz que se comercializa en la plaza minorista José María Villa de la ciudad de Medellín, y a su vez comparar los valores encontrados con los límites establecidos por el ministerio de salud y protección social para este importante cereal, lo anterior debido a que no existen caracterizaciones o documentos públicos donde se puedan consultar estos valores y analizar si representan un riesgo de inocuidad para los consumidores.

Planteamiento del Problema

Las micotoxinas son compuestos nocivos que se forman de forma natural por ciertos tipos de hongos. Estos hongos, responsables de la producción de micotoxinas, pueden hallarse en diversos productos alimenticios, tales como granos, frutas deshidratadas, nueces y especias. Su proliferación puede suceder antes o después de la cosecha, durante el almacenamiento, o incluso en los propios alimentos, especialmente en ambientes cálidos y húmedos. La mayoría de las micotoxinas son químicamente estables, lo que implica que pueden persistir incluso después de que los alimentos han sido procesados (OMS, 2023).

Hasta un 25% de las cosechas de alimentos básicos y forrajes a nivel global, así como los granos generados cada año, podrían estar afectados por micotoxinas (FAO,2021). Según Raj y Farkas (2023) en un estudio realizado por la empresa PATENT CO, en Colombia en el 2022 el 100% de las muestras de maíz estaban contaminadas con más de un tipo de micotoxina, entre ellas el 3% tenía 3 tipos de micotoxinas y el 97% más de tres, se detectaron fumonisinas B1, B2 Y B3 en el 100% de las muestras y la aflatoxina B1 con un promedio de 1 ppb, se detectó en el 40% de las muestras de maíz.

Al respecto, plantea Odjo (2023) las aflatoxinas son un tipo muy fuerte de micotoxina, y el contacto directo con estas sustancias, ya sea por ingerir alimentos impuros, puede ser perjudicial para la salud tanto de personas como de animales. Esto puede llevar a problemas como el retraso en el crecimiento de los niños, una reducción en las defensas del cuerpo, e incluso trastornos como el cáncer hepático. Lo más alarmante de las aflatoxinas y las micotoxinas es su capacidad para pasar desapercibidas, ya que no poseen olores ni sabores.

La evidencia toxicológica de las fumonisinas y de sus formas derivadas es muy limitada. La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) clasifica a las fumonisinas en

el grupo 2B, como posiblemente carcinógenas para las personas. El Panel CONTAM de EFSA ha establecido una Ingesta Diaria Tolerable (IDT) de 1 $\mu\text{g}/\text{pc}/\text{día}$ para las fumonisinas B1, B2, B3 y B4 solas o en combinación (Seguridad Alimentaria, 2023).

La presencia de fumonisinas y aflatoxinas en el maíz es un riesgo para la salud de los consumidores, en la actualidad no existe mucha información sobre los niveles encontrados en el mercado de la ciudad de Medellín, por lo que se hace necesario generar mayor información y diagnósticos periódicos a nivel local, para reconocer en qué nivel de riesgo se encuentra la población que consume el maíz y los productos elaborados con esta materia prima.

Preguntas de Investigación

¿El maíz comercializado en la plaza minorista José Maria Villa, cumple con los niveles permitidos de presencia de aflatoxinas y fumonisinas permitidos en las resoluciones 4506 de 2013 y 2671 de 2014?

¿Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los resultados obtenidos para fumonisina y aflatoxina en el maíz blanco y amarillo?

Justificación

El maíz es uno de los alimentos más importantes en Colombia, Según la Bolsa Mercantil de Colombia (BMC,2023) En Colombia, el maíz es un pilar fundamental en la dieta de las familias y también se utiliza como ingrediente en una variedad de otros alimentos y productos. En 2022, la producción de maíz alcanzó los 1,7 millones de toneladas, lo que representa un incremento del 5% en comparación con el año anterior, posicionando a Colombia como el quinto productor de maíz en toda Latinoamérica y el Caribe. Sin embargo, es importante destacar que alrededor del 80% del maíz que se consume en el país proviene de importaciones, lo que convierte a Colombia en el mayor importador de este cereal en Suramérica y el séptimo a nivel mundial.

Las aflatoxinas son las micotoxinas que más comunes encontramos en el maíz. Su aparición está influenciada por factores ambientales, las prácticas que se siguen después de la cosecha y los métodos de almacenamiento. Es crucial identificar la frecuencia y las condiciones que favorecen su presencia, ya que se consideran carcinógenos para los humanos (Tax et al., 2019).

Las fumonisinas son compuestos que producen los hongos del género *Fusarium*, los cuales suelen encontrarse en cultivos de cereales en regiones templadas, siendo el maíz el más afectado. Estos hongos pueden infectar el grano incluso antes de que se coseche. Hasta ahora, se han identificado alrededor de 18 tipos de fumonisinas, que se dividen en cuatro grupos: A, B, C y P. Las más importantes son las del grupo B, y dentro de ellas, la B1 es la más abundante y la que más preocupa por su toxicidad (Valdivia,2023).

El propósito de la presente investigación es determinar los niveles de aflatoxina y fumonisinas presentes en el maíz que se comercializa en la plaza minorista de la ciudad de

Medellín, Antioquia. Con el fin de comparar los niveles encontrados con los valores permitidos por la resolución 4506 de 2013 y determinar el riesgo al que se exponen los diferentes consumidores, con los datos obtenidos en la investigación se pretende generar un resumen estadístico que contenga la información relacionada a los niveles de aflatoxina encontrado; ya que en la actualidad este tipo de diagnósticos es muy limitado y no existe la suficiente información generando datos claros y concisos sobre los niveles de estas toxinas y conocer el riesgo al que están expuestos los consumidores en la ciudad de Medellín, ya que los informes que se encuentran son a nivel nacional y no están direccionados a una localidad específica.

Los beneficiarios serán los consumidores y los comerciantes quienes podrán obtener información que les será útil a la hora de tomar decisiones de compra y venta de este importante grano.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los niveles de Aflatoxinas y fumonisinas presentes en el maíz comercializado en la plaza minorista José Maria Villa de la ciudad de Medellín, Antioquia, verificando el cumplimiento de las resoluciones 4506 de 2013 y 2671 de 2014.

Objetivos Específicos

Cuantificar el nivel de aflatoxinas y fumonisinas presente en diferentes muestras de maíz compradas en la plaza minorista José Maria Villa de la ciudad de Medellín, Antioquia. por medio de las pruebas rápidas de flujo lateral.

Establecer si los niveles encontrados de fumonisinas y aflatoxinas en el maíz analizado están en los rangos que sugieren las normativas nacionales.

Comparar los niveles de aflatoxinas y fumonisinas encontrados en las muestras de maíz blanco y amarillo.

Marco Teórico

De las Micotoxinas

Las micotoxinas de acuerdo a lo esbozado por AESAN (2020) son contaminantes naturales producidos por los hongos, específicamente los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*. Estos hongos crecen en los cultivos de diferentes granos, semillas y demás productos agrícolas durante la cosecha y también en condiciones inadecuadas de almacenamiento. Además, tienen la capacidad de resistir diversos procesos como el secado, molienda y procesamientos térmicos. Al respecto, señala Ramos et al. (2020) *“estos compuestos son metabolitos fúngicos secundarios que están clasificados como peligros químicos de origen biológico, y se ha demostrado que pueden causar daños a la salud de las personas y de los animales”* (p.1).

Una de las propiedades de estas micotoxinas, según lo señalado por Valdivia (2023), es que afectan a los cultivos agrícolas, particularmente a los de cereales, nueces, especias y frutos de cáscara, ya que su producción está conectada principalmente con la humedad y la temperatura. Además, esta producción se ve afectada por elementos como el pH, la cantidad de agua disponible, la composición del sustrato, los daños físicos, los perjuicios causados por insectos, la presencia de oxígeno, el tipo de suelo y las condiciones de almacenamiento, entre otros factores. Asimismo, se distinguen por su capacidad para aparecer en toda la cadena de suministro de alimentos, desde los cultivos en el campo hasta los productos procesados, abarcando también piensos y alimentos crudos. Por esta razón, la presencia generalizada de micotoxinas en alimentos y piensos ocasiona pérdidas económicas significativas, aunque se ha observado que los cereales, nueces, semillas oleaginosas, frutas deshidratadas, café, cacao, especias y sus derivados son los productos donde más frecuentemente se han encontrado niveles elevados de micotoxinas, lo cual los hace inseguros para el consumo (Ramos et al., 2020).

Para Valdivia (2023) desde la perspectiva de la seguridad alimentaria, las micotoxinas más significativas son: aflatoxinas, ocratoxina, patulina, fumonisinas, zearalenona, nivalenol y deoxinivalenol. Sobre ello, en la tabla 1 se muestran los tipos de fumonisinas y aflatoxinas con sus hongos productores.

Tabla 1

Fumonisinina y Aflatoxinas con sus Hongos Productores

Micotoxina	Tipos	Hongos Productores
Aflatoxina	B1, B2, G1, G2, M1, M2	<i>Aspergillus parasticus, Aspergillus flavus</i>
Fumonisinina	B1, B2, B3	<i>Fusarium verticilloides, Fusarium proliferatum, Aspergillus niger</i>

Nota: Tomada de Valdivia (2023, p.3).

En lo que tiene que ver con el ingreso de estas toxinas a la cadena alimentaria, a raíz de los análisis de Valdivia (2023) se tiene que este se da a través de 2 vías principales. La primera es directamente por medio de los cultivos afectados a pesar que sean procesados como el café, cerveza, cereales de desayuno entre otros, y los no procesados como legumbres, hortalizas, frutos secos y demás. La segunda vía es indirectamente por medio de los alimentos generados por animales que han consumido piensos contaminados con estas toxinas, como la leche, carne y huevos.

De las Aflatoxinas

Las aflatoxinas son un tipo de micotoxinas que se generan a partir de mohos del género *Aspergillus*, en particular de algunas cepas de *Aspergillus flavus* y casi todas las de *Aspergillus*

parasiticus. El interés en investigar estas sustancias surgió tras una epidemia que afectó a la población de pavos en las granjas de Gran Bretaña durante la primavera y el verano de 1961, resultando en la muerte de más de 100.000 aves. Se descubrió que la causa de esta tragedia era la harina de cacahuets, que estaba contaminada con *Aspergillus flavus* y que había sido importada de Brasil (Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria, 2013).

Desde el enfoque químico, como señala Soriano (2007), las aflatoxinas son metabolitos de estructura heterocíclica y están interconectadas entre sí, teniendo el anillo lactónico y el doble enlace del anillo difurano como responsables de su capacidad tóxica. Esto se debe a que son sustancias que ionizan con facilidad y son altamente reactivas, con un peso molecular que oscila entre 312 y 350. Además, tienen baja solubilidad en agua y pueden ser extraídas utilizando disolventes orgánicos moderadamente polares, como el cloroformo o el metanol. Igualmente, las aflatoxinas que se obtienen en forma cristalina son muy resistentes al calor, se mantienen estables dentro de un pH que va de 3 a 10, y sus temperaturas de fusión superan los 250 °C. Experimentalmente, presentan un alto potencial para causar mutaciones y cáncer, lo que las clasifica como la aflatoxina con mayor riesgo para la salud de las personas. De este modo, "las cuatro aflatoxinas principales son B1, B2, G1 y G2, donde las letras representan la fluorescencia" (Soriano, 2007).

Ahora, en términos de toxicidad, la aflatoxina con mayores rangos es la B1. Esta se transforma biológicamente en el hígado mediante enzimas pertenecientes a la superfamilia del citocromo P450 en varios metabolitos, entre los que se encuentra la aflatoxina M1 (Deng et al., 2018; y Rushing y Selim, 2019). De su parte, la aflatoxina M1, se trata de un metabolito hidroxilado que puede encontrarse en la leche de mamíferos que han ingerido alimento

contaminado con aflatoxina B1 (Creppy, 2002). También, las aflatoxinas pueden ser excretadas en huevos, orina, semen, bilis y heces (Coppock et al., 2018).

De los *Aspergillus*

Los hongos que pertenecen al género *Aspergillus* son de tipo filamentoso (Lamoth et al. , 2016), lo que se debe a que están compuestos por cadenas similares a filamentos, conocidas como hifas. Se ha identificado aproximadamente 900 especies de este género, que Rapper y Fennell organizaron en dieciocho categorías, de las cuales solo doce están asociadas con enfermedades en humanos: *A. fumigatus* (85 %), *A. flavus* (5-10 %), *A. niger* (2-3 %), *A. terreus* (2-3 %), *A. versicolor*, *A. nidulans*, *A. glaucus*, *A. clavatus*, *A. cervinus*, *A. candidus*, *A. flavipes* y *A. ustus* (Alcalá et al., 2018).

Aspergillus se encuentra entre los hongos más destacados que generan micotoxinas, incluyendo la aflatoxina. Las micotoxinas son compuestos secundarios que el hongo produce y libera mientras descompone materia orgánica, actuando, así como un sistema de defensa contra otros microorganismos (INSST, 2021).

Este hongo tiene un ciclo biológico bastante sencillo, donde se producen esporas para reproducirse. Después de que estas esporas germinan, se desarrollan las hifas, que son las formas invasivas del hongo. Esta simplicidad en su ciclo biológico le permite al hongo esporular con gran eficacia, lo que resulta en altas concentraciones de esporas en el aire (Ramírez,2020).

Aspergillus Flavus

Según las consideraciones de Ramírez (2020) *Aspergillus flavus* puede generar metabolitos que no están directamente relacionados con su metabolismo fisiológico, sino que funcionan como un mecanismo de defensa. Estos metabolitos, conocidos como aflatoxinas, se producen durante el

desarrollo del hongo. El riesgo surge cuando este hongo coloniza los granos y libera estas sustancias tóxicas.

Aspergillus Niger

Este organismo fúngico se desarrolla de manera micelial en el ambiente, compuesto por hifas hialinas con tabiques. Es un hongo que se encuentra en todo el mundo y lleva a cabo una vida como saprófito, lo que significa que su existencia se da en entornos naturales sin la intervención del ser humano. Así, cuando se encuentra en tejidos humanos, esto ocurre de manera accidental en relación con su ciclo vital habitual. En el caso de infecciones invasivas, representa entre un 3 y un 7 por ciento, siendo más común en infecciones de tipo otomicótico y problemas de la piel. A pesar de su capacidad para causar enfermedades oportunistas, también posee un aspecto positivo en el ámbito industrial (Ramírez, 2020).

Aspergillus Fumigatus

En lo que tiene que ver con estos Gill (2018) ha indicado que es un hongo patógeno oportunista que produce una gran cantidad de esporas y se encuentra ampliamente en el medio ambiente. Además, al ser cosmopolita puede causar infecciones oportunistas en humanos y forma parte del microbiota habitual presente en el aire, el suelo y la materia vegetal en descomposición. También en algunas oportunidades se puede ver a este microorganismo contaminando los alimentos. Los más comúnmente atacados son aquellos ricos en carbohidratos y fibras como el pan, dulces y granos.

Por otra parte, *Aspergillus fumigatus* es capaz de crecer a 37 °C, pero también puede hacerlo a 50°C Por ello, se dice que es una especie termo tolerante. Sus conidias pueden sobrevivir a 70°C (Ramírez,2020). Pero, las condiciones óptimas para el desarrollo y crecimiento del hongo *Aspergillus* son entre 20°C a 40 °C dependiendo de la especie, le favorecen

humedades relativas superiores al 85%, aunque algunas especies se pueden desarrollar en condiciones más secas, tienen una preferencia por ambientes ligeramente ácidos cercanos a pH 5, sustratos como materiales ricos en carbono, granos, frutas, alimentos procesados y suelos orgánicos, como son aerobios por lo cual dependen del oxígeno para crecer y la luz aunque no es un limitante favorece el desarrollo de su micelio (Klich,2002).

De las Fumonisinias

Las fumonisinias son un grupo de micotoxinas producidas principalmente por especies de hongos del género *Fusarium*, como *Fusarium verticillioides* y *Fusarium proliferatum*, que se encuentran comúnmente en cultivos de maíz. Son particularmente preocupantes en regiones donde el maíz es un alimento básico, ya que pueden contaminar el grano y sus productos derivados durante el almacenamiento o procesamiento. Existen varios tipos de fumonisinias, siendo las más relevantes la fumonisina B1 (FB1), B2 (FB2) y B3 (FB3), con la FB1 considerada la más tóxica y frecuente. Estas toxinas actúan interfiriendo en la biosíntesis de esfingolípidos, lo que puede ocasionar toxicidad hepática, renal, y afectar el sistema nervioso en animales y humanos (Marín et al., 2013).

Otra perspectiva teórica indica que son sustancias que se disuelven en disolventes polares, pero no en disolventes apolares, y son resistentes a la luz y al calor. No obstante, aunque son considerados compuestos termoestables, su cantidad puede disminuir considerablemente cuando se exponen a tratamientos térmicos donde la temperatura excede los 150°C (Valdivia, 2023).

De acuerdo con Valdivia (2023) en lo que tiene que ver con su estructura, esta fue descrita por primera vez por el grupo de investigación del doctor Bezuidenhout, en el año 1988. Las fumonisinias son aminopolioles. Principalmente se basa en un esqueleto lineal de 20 átomos

de carbono, con un grupo amino en el C-2 y diversos grupos hidroxilo, metilo y ácido tricarbóxico en diversas posiciones a lo largo de la cadena carbonada. En función de los grupos presentes en la cadena, la fumonisina en cuestión pertenecerá a la serie A, B, C o P. Aunado a lo anterior, la fumonisina más importante debido a su toxicidad y complejidad es la Fumonisina B1, pues esta micotoxina ataca principalmente el maíz, productos derivados del maíz y el sorgo, su presencia en arroz y trigo está dada en niveles más bajos.

Como sustancia pura, la FB1 es un polvo blanco higroscópico. Es soluble en agua, metanol y acetonitrilo: agua, además de ser estable en acetonitrilo: agua (1:1) e inestable en metanol. Su peso molecular es de 721,83 g/mol (Valdivia,2023). Pero, aún no se conoce con certeza cual es el mecanismo de toxicidad de la FB1. La hipótesis que más tiene fuerza es la que sugiere que se alteran los metabolismos de los esfingolípidos, que son componentes activos de la membrana plasmática de células eucariotas que se encargan de regular el crecimiento celular. Esto se da porque la FB1 actúa como un inhibidor competitivo de la ceramida sintasa, alterando el metabolismo de los esfingolípidos provocando una disminución de la concentración de ceramida y aumento de los niveles de esfingosina y esfingosina libres desencadenando estrés oxidativo (Valdivia,2023).

De la *Fusarium*

El hongo *Fusarium* es un género de hongos filamentosos ampliamente distribuido en el suelo y asociado con plantas. Este género incluye numerosas especies, muchas de las cuales son fitopatógenos que causan enfermedades en cultivos importantes, como el maíz, el trigo y la cebada. Además de su impacto agrícola, algunas especies de *Fusarium* son conocidas por producir micotoxinas, como las fumonisinas, tricotecenos y zearalenona, que pueden contaminar

los alimentos y piensos, representando un riesgo para la salud humana y animal (Leslie & Summerell, 2006).

Este hongo tiene una distribución global y puede sobrevivir en el suelo en forma de micelio, que es el conjunto de hifas que constituye la parte vegetativa del hongo, o como espora que germina cuando las condiciones son favorables. Este último aspecto no solo le permite sobrevivir durante largos períodos en situaciones adversas, sino que también facilita su dispersión a través del viento y la lluvia, lo que le permite llegar a diferentes lugares e infectar otros cultivos. Se le considera un patógeno oportunista, ya que puede causar enfermedades en plantas, humanos y animales cuando estos están inmunosuprimidos. Además, tiene la capacidad de producir metabolitos secundarios que afectan una gran variedad de productos agrícolas, lo que lo convierte en uno de los hongos más competitivos de la naturaleza (Retana et al., 2018)

Respecto a las condiciones óptimas de crecimiento para el hongo *fusarium*, Leslie y Summerell (2006) sugieren que son una temperatura entre 25°C y 30°C, humedades relativas por encima del 90% para poder realizar la germinación de las esporas, pH entre 6 y 7 dependiendo de la especie, sus principales sustratos son materia orgánica como los suelos y restos vegetales.

Efectos de las Aflatoxinas y Fumonisinias en la Salud

En los seres humanos, las aflatoxinas son posiblemente la causa de numerosos casos de intoxicación masiva, lo que puede llevar a hepatitis aguda. Un ejemplo de esto se observa en su alta presencia en varias regiones de la India, el Sudeste Asiático y África tropical y ecuatorial. Además, contribuyen a empeorar enfermedades relacionadas con la desnutrición, como el kwashiorkor, que es una forma de malnutrición proteica en niños. Al mismo tiempo, probablemente son un factor, junto con otras causas, de la alta incidencia de cáncer de hígado que se registra en algunas de estas áreas (Dirección de Alimentos y Bebidas – Invima, 2020).

De manera similar, puesto que las aflatoxinas constituyen un tipo poderoso de micotoxina, la conexión directa con estas sustancias a través de alimentos que las contengan puede resultar dañina tanto para la salud humana como animal. Esto puede ocasionar dificultades como la falta de crecimiento en los niños, la inmunosupresión —que se refiere a la reducción o eliminación de las defensas del cuerpo— e incluso enfermedades serias como el cáncer hepático. Lo más preocupante de las aflatoxinas y otras micotoxinas es que son difíciles de identificar, ya que carecen de olores y sabores (Odjo,2023).

Las aflatoxinas son compuestos tóxicos que afectan el hígado. La aflatoxina B1 ha demostrado ser carcinogénica en todos los modelos animales utilizados en experimentación. La toxicidad y carcinogenicidad de las aflatoxinas se clasifica en el siguiente orden: B1 > G1 > B2 > G2 (Dirección de Alimentos y Bebidas – Invima, 2020).

Entre las enfermedades más comunes provocadas por *Aspergillus flavus* se encuentran la sinusitis fúngica, infecciones cutáneas y neumonía no invasiva. Además, este hongo puede ocasionar infecciones en la córnea, en la región nasoorbital y enfermedades diseminadas. *Aspergillus flavus* es responsable del 10% de las infecciones invasivas y ocupa el tercer lugar como causa de onicomycosis en humanos (Gill, 2018)

En la tabla 2, se puede observar algunos de los efectos tóxicos y alimentos afectados por fumonisina y aflatoxina.

Tabla 2

Principales Micotoxinas junto con su Mecanismo de Acción, Efectos Tóxicos y Alimentos

Afectados

Micotoxina	Mecanismo de acción	Efectos tóxicos	Alimentos afectados
Aflatoxina B1	Inhibición de la síntesis de proteínas	Hepatotoxicidad, Carcinogénesis, Genotoxicidad, Inmunotoxicidad, Teratogenicidad	Maíz, cacahuates, nueces de Brasil y semilla de algodón
Fumonisinina B1	Inhibición de la biosíntesis de esfingolípidos	Trastornos gastrointestinales Neurotoxicidad, Nefrotoxicidad	Maíz y derivados, sorgo, trigo y otros cereales (en menor medida)

Nota. Tomada de Valdivia (2023, p.4).

Ahora, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, 2002) ha clasificado a las fumonisinas como "*posiblemente carcinogénicas para los humanos*" (Grupo 2B), lo que significa que hay evidencia limitada en humanos, pero suficiente en animales para sugerir su potencial cancerígeno. Mientras que, en modelos animales, la fumonisina B1 (FB1) ha mostrado inducir cáncer de hígado y de esófago. Es por lo que, la exposición a fumonisinas en humanos ha sido asociada con daño hepático, especialmente en poblaciones que consumen maíz contaminado como alimento básico. Es más, las fumonisinas pueden causar alteraciones en los niveles de enzimas hepáticas, lo que sugiere daño al hígado. La toxicidad renal también es una preocupación, especialmente en casos de exposición crónica (Riley & Voss, 2006).

En los seres humanos, las intoxicaciones por FB1 suelen ocurrir principalmente a través del consumo de maíz. Varios estudios han encontrado que la ingesta de alimentos que contienen fumonisinas podría estar vinculada, desde un punto de vista epidemiológico, a problemas graves como el cáncer de esófago, cáncer de hígado, defectos en el desarrollo del tubo neural e

intoxicaciones agudas. Por ejemplo, el cáncer de esófago es más común en áreas donde el nivel socioeconómico es bajo, lo que sugiere que las dietas de estas poblaciones dependen en gran medida del maíz y el trigo. Además, el cáncer de hígado parece ser el resultado de una interacción sinérgica entre las fumonisinas (especialmente FB1) y otras micotoxinas, como las aflatoxinas, tricotecenos y microcistinas (toxinas de algas). En cuanto a los defectos neuronales, estos se deben a la interrupción del metabolismo de los folatos provocada por las fumonisinas, lo que reduce la absorción de estos nutrientes y puede llevar a problemas en el desarrollo del tubo neural. En lo que respecta a las intoxicaciones agudas, los síntomas que se presentan son de tipo gastrointestinal, incluyendo vómitos, diarrea, dolor abdominal y borborigmos. (Valdivia, 2023)

Del Maíz *Zea Mays L*

Este es uno de los cereales más antiguos que existen. Forma parte de la familia de las Pomáceas (Gramíneas), en la tribu Maydeas, y es la única especie que se cultiva de este género. Otras variedades del grupo *Zea*, conocidas como teosinte, así como las del género *Tripsacum*, que se llaman arrocillo o maicillo, son parientes silvestres de *Zea mays*. Se consideran del Nuevo Mundo ya que su lugar de origen está en América (Paliwal, 2001).

Entre sus rasgos físicos, se encuentra que la planta de maíz tropical es alta, presenta numerosas hojas y dispone de un sistema radicular fibroso, generalmente con un solo tallo que sostiene hasta 30 hojas. En ocasiones, se desarrollan una o dos yemas laterales en la axila de las hojas en la parte superior de la planta, que culminan en una inflorescencia femenina que se forma en una mazorca cubierta por hojas; esta es la sección de la planta que conserva reservas. La parte superior de la planta finaliza en una inflorescencia masculina o panoja; esta cuenta con una espiga central destacada y varias ramificaciones laterales que contienen flores masculinas, todas las cuales generan una gran cantidad de granos de polen (Paliwal, 2001).

También, el maíz tiene variaciones de color, textura, composición nutricional y apariencia, se puede clasificar de acuerdo a las siguientes características en situación del endospermo del grano, el color del grano, el ambiente donde se cultiva, la madurez, y la humedad (Paliwal, 2001). Entre ellas, y según el autor en comento, los tipos más importantes de maíz cultivados para grano o forraje y ensilaje caen dentro de las tres categorías más importantes de duro, dentado y harinoso

Micotoxinas en Maíz

Los alimentos con mayor probabilidad de contaminación por micotoxinas son los cereales y sus productos derivados, incluidos el maíz, el trigo, la cebada, el arroz y la avena. Estos cultivos son particularmente vulnerables debido a su susceptibilidad al ataque de hongos productores de micotoxinas, como *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium*, durante el crecimiento, la cosecha, el almacenamiento o el procesamiento. Además, otros productos agrícolas, como los frutos secos (nueces, almendras, cacahuates), las semillas oleaginosas (soja, girasol), y las especias también pueden estar contaminados. Las micotoxinas más comunes en estos alimentos incluyen aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxina A, tricotecenos y zearalenona (Bennett & Klich, 2003).

De su parte, según Mazzani (1996) la calidad de los granos de maíz, está condicionada por sucesos que pueden ocurrir antes de su cosecha, ya que están expuestos a factores abióticos y bióticos responsables de su calidad, los mohos además de estar involucrados en la pérdida de la calidad, también reciben especial atención por sus implicaciones en salud pública.

En atención a lo anterior, la contaminación del maíz con micotoxinas se da debido a la acción de los hongos mencionados anteriormente como *Aspergillus flavus* y *Fusarium spp.* Esta contaminación se puede dar tanto en campo como en el almacenamiento, en el campo lo pueden

afectar las temperaturas altas, sequías y daños en las mazorcas debido a insectos o demás plagas que favorecen el desarrollo de hongos. Además, en el almacenamiento los niveles de humedad del grano por encima del 15% combinado con temperaturas superiores a los 35°C favorecen el desarrollo de hongos que producen las micotoxinas (University of Minnesota Extension,2024)

Maíz en Colombia

En Colombia, la producción de maíz es una actividad agrícola de gran importancia, tanto para el consumo humano como para la alimentación animal. El país cultiva principalmente dos tipos de maíz: maíz tecnificado (híbrido) y maíz tradicional (criollo), siendo los departamentos de Meta, Córdoba, Tolima, Antioquia y Valle del Cauca los principales productores. Sin embargo, la producción nacional no es suficiente para satisfacer la demanda interna, lo que obliga al país a importar una cantidad significativa de maíz, especialmente para la industria de alimentos balanceados para animales (Fenalce, 2021).

En este país, la producción de maíz varía anualmente, pero en los últimos años ha oscilado entre 1,2 y 1,5 millones de toneladas. Esta cantidad incluye tanto maíz blanco, destinado principalmente al consumo humano, como maíz amarillo, utilizado en la alimentación animal y en la industria. Sin embargo, la producción local no cubre la demanda total del país, que supera los 6 millones de toneladas anuales, lo que obliga a importar la mayor parte del maíz requerido, especialmente el maíz amarillo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

Comercio de Maíz en Antioquia

Según datos de la Alcaldía de Medellín (2019) el comercio de maíz en la Plaza Minorista José María Villa de Antioquia es una actividad dinámica y de gran relevancia para la región, ya que esta plaza es uno de los principales centros de distribución de productos agrícolas en Medellín. En la minorista, se comercializan tanto maíz blanco como maíz amarillo, siendo estos

productos utilizados para el consumo humano y la alimentación animal. Seguidamente sirve como punto de encuentro para productores locales y comerciantes que abastecen tanto a minoristas como a mayoristas. Sin embargo, los precios del maíz en la plaza están sujetos a la oferta y la demanda, así como a la disponibilidad del grano en el mercado nacional, que puede estar influenciada por la competencia de las importaciones.

Estado de Arte

Según (Gimeno & Martins, 2015) señalan que cerca de 25% de los alimentos cosechados anualmente a nivel mundial se encuentran afectados por micotoxinas; en tanto que (De María et al. 2017) indican que el nivel de contaminación varía entre el 25 y el 40%, es por ello que en la Tabla 3 se muestra las micotoxinas encontradas en diferentes materias primas, realizadas en distintas investigaciones (Chulli, 2023).

Tabla 3

Micotoxinas en Diferentes Materias Primas Destinadas a Alimentación Animal

Micotoxina	Materia prima	Especie	Número de muestras			Valor promedio ppb	Máximo permitido ppb	Fuente
			Analizadas	Positivas	Porcentaje			
Aflatoxinas	Maíz	Cerdos	23	15	65%	4,91	20	Maniglia et al (2015)
Fumonisinás	Maíz	Aves	30	30	100%	1196	3000	Aguillón (2020)

Nota: Tomado de Chulli (2023, p.24).

La tabla 3 presenta el resultado de varios investigadores, según (Maniglia et al, 2015) La aflatoxina en el maíz que se utiliza como alimento balanceado para cerdos es un tema importante. En un estudio, se analizaron 23 muestras, de las cuales 15 resultaron positivas. Se encontró un valor promedio de esta micotoxina de 4,91 ppb, que está dentro del rango permitido de 20 ppb. La autora del estudio sugiere que estos niveles bajos de aflatoxinas podrían deberse, entre otras cosas, a las condiciones agroecológicas de la región y al manejo de la materia prima. También se menciona el uso de materia prima transgénica importada. Además, se destaca la importancia de las políticas agroalimentarias que han ayudado a mejorar el control de la calidad de los productos agrícolas (Chulli, 2023).

Adicional a esta información, en otros estudios realizados evaluaron 248 muestras de maíz, encontraron resultados similares obteniendo 22 muestras positivas contaminadas con niveles promedios 12,6 ppb de aflatoxinas (Chulli, 2023).

Agurto (2023) en su análisis literario sobre la presencia de aflatoxinas en el maíz revela que se encontraron referencias indexadas relacionadas con estas toxinas en cereales que se cultivan, almacenan y transportan para el consumo humano.

En este sentido, se identificaron 28 artículos sobre las aflatoxinas del maíz, seguidos de 26 artículos sobre las aflatoxinas del trigo, mientras que los estudios sobre las aflatoxinas de la avena fueron menos numerosos, con solo 18 de un total de 72 estudios, solo uno fue una revisión sistemática y metaanálisis; el resto consistió en investigaciones experimentales con un diseño típico y ensayos con muestras probabilísticas. En esta revisión, se reportaron las aflatoxinas presentes en los cereales, encontrando que el maíz presenta en proporciones equivalentes las cuatro variedades de aflatoxinas con implicaciones clínicas: B1, B2, G1 y G2. En el caso del trigo, se identifican variedades de micotoxinas como Deoxinivalenol, Nivalenol, T-2 y HT-2, además de las ya conocidas B1, B2, G1 y G2. En la avena, se encontraron micotoxinas de tipo B1, B2 y algunos tricotecenos de tipo A. Por lo tanto, la variabilidad fúngica que afecta a los cereales tiene un impacto directo en la proporción y tipo de aflatoxinas presentes (Agurto,2023).

En la ciudad de Tepic Nayarit – México, se evaluó la presencia de fumonisinas en 16 muestras maíz de uso forrajero y para consumo humano, encontrando contaminaciones que iban desde los 220 ppb hasta las 4000 ppb, concluyendo que los niveles que encontraron estaban dentro de los rangos establecidos por la FDA (Robledo, 2017).

En 2022, en Colombia, específicamente en el Valle del Cauca, se llevaron a cabo visitas a 25 localidades donde se produce maíz, recolectando mazorcas secas y asintomáticas. Se lograron

obtener 50 aislamientos, siendo el más común *Fusarium* (42%), seguido por *Talaromyces* (28%), *Penicillium* (18%) y *Aspergillus* (12%). La identificación de estos aislamientos se realizó utilizando claves taxonómicas y mediante la amplificación de las regiones ITS, TEF-1 α y β -tubulina, alcanzando un porcentaje de identidad y cobertura de entre 99-100%. Esto permitió identificar especies de gran relevancia económica que causan enfermedades diversas en el cultivo de maíz y que tienen la capacidad de producir micotoxinas significativas, como *F. verticillioides*, *F. graminearum*, *F. proliferatum* y *A. niger*. Además, se reporta por primera vez en Colombia y en el Valle del Cauca la presencia de 9 especies asociadas a la mazorca de maíz, tales como *F. sororula*, *A. sydowii*, *A. tamarisii*, *A. goneii*, *P. citrinum*, *T. funiculosus*, *T. sayulitensis*, *T. stollii* y *T. wortmannii*. La detección de las micotoxinas se llevó a cabo mediante la amplificación por PCR de las regiones AflS, TRI5, FUM y PKS13, que están implicadas en la biosíntesis de aflatoxinas (AFL), deoxinivalenol (DON), fumonisinas (FUM) y zearalenona (ZEA). La cuantificación se realizó a través de un análisis cuantitativo ELISA utilizando kits Veratox de Neogen.

Los resultados mostraron que, de los 50 aislamientos analizados, 24 dieron positivo a través de PCR para la detección de AFL, DON, FUM y ZEA, con concentraciones especialmente altas de fumonisinas, que superaron los límites máximos establecidos por la FDA de EE. UU., la Comisión Europea y el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. Además, se presenta el primer informe a nivel mundial sobre la presencia y producción de DON y ZEA por la especie *F. sororula*, así como de AFL por *A. sydowii* en el maíz. La identificación y caracterización de estos hongos tóxicos, junto con la evaluación oportuna de las micotoxinas, son fundamentales para desarrollar y fortalecer diversas estrategias de prevención, control y

vigilancia de estos contaminantes, asegurando así la calidad e inocuidad del maíz y los productos derivados destinados al consumo humano y animal (Velásquez ,2022).

Pruebas de Flujo Lateral

La prueba de flujo lateral consiste en una tecnología relativamente simple basada en una serie de lechos capilares tales como trozos de papel poroso. El primer elemento (almohadilla filtro) actúa como una esponja y succiona la solución de muestra. El líquido migra al segundo elemento (almohadilla de oro) donde el fabricante ha instalado las partículas bioactivas (conjugado): una matriz seca especial, diseñada para garantizar una reacción química entre la molécula diana (por ejemplo, una micotoxina) y su contraparte química (anticuerpo), inmovilizada en la superficie de la almohadilla de oro.

A medida que la solución de muestra difunde por la tira, llega a la matriz y reacciona con el anticuerpo presente en la almohadilla de oro. La molécula diana (micotoxina, por ejemplo) se une al anticuerpo mientras migra por la membrana hacia la almohadilla adsorbente. La membrana tiene una o más áreas (denominadas tiras) donde el fabricante ha instalado una tercera molécula de “captura”. Cuando la mezcla conjugado-muestra alcanza estas tiras, la tercera molécula de “captura” atrapa al complejo. A medida que más líquido pasa sobre las tiras, las partículas se acumulan y las tiras cambian de color. Generalmente, hay al menos dos tiras. La tira de control captura cualquier partícula, mostrando así que las condiciones de reacción y la tecnología están funcionando. La segunda tira contiene una molécula de captura específica, diseñada para capturar sólo el complejo conjugado-muestra (Biomin, 2018).

Regulaciones Micotoxinas en Colombia

En Colombia existe la Resolución 4506 de 2013, por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en alimentos destinados al consumo humano. Esta resolución con respecto a las aflatoxinas y fumonisinas estableció que:

La suma de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 para todos los cereales y todos los productos a base de cereales, incluidos los productos de cereales transformados no debe ser mayor de 4 µg/kg; La suma de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 para maníes y otras semillas oleaginosas y sus productos transformados destinados al consumo humano directo no debe ser mayor de 10 µg/kg; Aflatoxina M1 para leche no debe ser mayor de 0,5 µg/kg; La suma de Fumonisinas B1 y B2 para maíz y alimentos a base de maíz destinados al consumo humano directo, a excepción de los cereales para el desayuno a base de maíz y pasabocas de maíz y los alimentos elaborados de maíz y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad no debe ser mayor a 1000 µg/kg (Ministerio de Salud, Resolución 4506 de 2013)

Luego la resolución número 2671 de 2014, que modifica la Resolución 4506 de 2013 estableció:

La suma de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 para arroz que vaya a someterse a un proceso de selección u otro tratamiento físico antes del consumo humano directo, o de su utilización como ingrediente de productos alimenticios, no debe ser mayor a 10 µg/kg. La suma de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 para maíz que vaya a someterse a un proceso de selección u otro tratamiento físico antes del consumo humano directo, o de su utilización como ingrediente de productos alimenticios, no debe ser mayor a 20 µg/kg. Para el valor de la

suma de fumonisinas B1 y B2 no se realizaron modificaciones a las establecidas en la resolución 4506 de 2013 (Ministerio de Salud, Resolución 4506 de 2013).

Metodología

Mapeo Puntos de Venta Maíz en la Plaza Minorista de Medellín

Inicialmente se consultó con el puesto de información de la plaza minorista “José María Villa” ubicada en la Calle 55A # 57-80 de la ciudad de Medellín – Antioquia la cantidad de puntos de venta que comercializan maíz trillado amarillo y/o blanco para consumo humano.

Tamaño de la Muestra

El total de locales destinados a comercializar cereales y abarrotos fue de 20, esta cantidad se tomó como población para el estudio, se procedió con el cálculo que determinó el número de muestras para un nivel de confianza del 90%, el resultado fue de 16 muestras, se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2(p * q)}{e^2 + \frac{(z^2(p * q))}{N}}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra, z= Nivel de confianza deseado= Proporción de la población sin la característica deseada, e= Nivel de error dispuesto a cometer, N= Tamaño de la población

Compra de las Muestras

Definido el tamaño de la muestra, se procedió a realizar la compra de manera aleatoria, se adquirieron muestras de 1 Kg de maíz trillado en cada uno de los locales.

Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico y se llevaron al laboratorio de la empresa PORCICULTORES APA SAS.

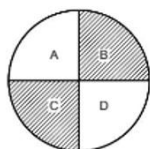
Homogenización de las Muestras

En el laboratorio se realizó el procedimiento de homogenización de las muestras para dividir las, se utilizó el método de cono y cuartos descrito en la NTC 271 del 2012, el cual consiste en los siguientes pasos:

1. Mezcle totalmente la muestra agregada repitiendo las operaciones indicadas en el numeral 2 y 3 por lo menos 2 veces antes de realizar la división como se describe en los numerales 4 y 5, se debe trabajar sobre una superficie limpia y no absorbente.
2. Reúna los granos en una pila cónica
3. Aplane la superficie de la pila y luego de esta se divide en cuartos, A, B, C y D.
4. Deseche dos cuartos diagonalmente opuestos (B y C) y mezcle los dos cuartos restantes (A y D) (véase la figura 1)

Figura 1

Método de Conos y Cuartos



Nota: Tomado de ICONTEC (2012, p.13).

5. Repita el proceso total hasta obtener la muestra de laboratorio con el tamaño requerido.

Preparación de las Muestras de Maíz

Después del cuarteo, se obtuvieron muestras de 500g, cada muestra se molió en el equipo FOSS Cyclotec CT 293 “este molino se basa en el principio de ciclón para aplicaciones de trituración universales de laboratorio. La muestra se enrolla en la circunferencia interna de una superficie trituradora duradera y se pasa por un tamiz de 1mm” (Molino Foss Cyclotec CT

293, 2018), hasta alcanzar un tamaño de partícula fino, luego son guardadas en bolsas selladas herméticamente y almacenadas a temperatura entre 25 – 30 °C hasta el momento del análisis.

Extracción de Aflatoxinas

Se pesó 5 g de la muestra molida y se le añadieron 1.5 ml de la solución de extracción incluida en el kit Symmetric Total Green 0-30 (prognosis Biotech, Grecia) y 13,5 mL de agua estéril, homogeneizando en shaker o vortex por aproximadamente 5 min. Posteriormente se dejó sedimentar la mezcla y se tomó 1 mL del extracto, el cual fue centrifugado a 7000 rpm durante 2 minutos.

Medición de Aflatoxinas Totales

La medición de aflatoxinas en todas las muestras se realizó usando el kit Symmetric Total Green 0-30, el cual detecta aflatoxinas del tipo B1, B2, G1 y G2 con un rango de cuantificación de 1,3 ppb a 30 ppb, para ello se depositaron 100 µL del sobrenadante de cada muestra en los micro pocillos incluidos en el kit. Posteriormente se pipeteó suavemente evitando la generación de burbujas por 4 o 5 veces con el fin de mezclar completamente la muestra con los anticuerpos específicos para Aflatoxinas conjugados con oro coloidal presentes en los micro pocillos. Una vez mezclados los pozos, se depositó en cada uno, una de las tirillas medidoras incluidas en el kit y se dejó que la mezcla suspendida en los micro pocillos fluyera verticalmente durante 3 minutos. Una vez pasado este tiempo, la tirilla fue retirada y ubicada en el lector de flujo lateral 3PR MINI, desarrollado por Prognosis Biotech para ser escaneada. La concentración de aflatoxina total en la muestra es dada en ppb usando una curva específica del lote para calcular los resultados por medio del software S-Flow.

Extracción de Fumonisinias

Se pesó 5 g de la muestra molida y se le añadieron 1,5 ml de la solución de extracción

incluida en el kit Symmetric Fumonisin Green (prognosis Biotech, Grecia) y 13,5 mL de agua estéril, homogeneizando en shaker o vortex por aproximadamente 5 min. Posteriormente se dejó sedimentar la mezcla y se tomó 1 mL del extracto, el cual fue centrifugado a 7000 rpm durante 2 minutos.

Medición de Fumonisin Totales

La medición de fumonisinas en todas las muestras se hizo usando el kit Symmetric fumonisin Green, el cual detecta fumonisinas del tipo FB1, FB2 Y FB3 con un límite de cuantificación de 150 ppb a 4000 ppb. Para ello se depositaron 100 μ L del sobrenadante de cada muestra en los micro pocillos incluidos en el kit. Posteriormente se pipeteó suavemente evitando la generación de burbujas por 4 o 5 veces con el fin de mezclar completamente la muestra con los anticuerpos específicos para Aflatoxinas conjugados con oro coloidal presentes en los micro pocillos. Una vez mezclados los pozos, se depositó en cada uno, una de las tirillas medidoras incluidas en el kit y se dejó que la mezcla suspendida en los micro pocillos fluyera verticalmente durante 3 minutos. Una vez pasado este tiempo, la tirilla fue retirada y ubicada en el lector de flujo lateral 3PR MINI, desarrollado por Prognosis Biotech para ser escaneada. La concentración de aflatoxina total en la muestra es dada en ppb usando una curva específica del lote para calcular los resultados por medio del software S-Flow.

Análisis Estadístico

Para identificar si existen diferencias estadísticas en la concentración de las micotoxinas analizadas, para las muestras de maíz blanco y amarillo; se evaluó la diferencia de medias mediante un análisis de varianza ANOVA, seguido un test LSD (Least Significant Difference) de Fisher, empleando el software Statgraphics versión Centurión, con un nivel de significancia de 0,05 (95% de confianza).

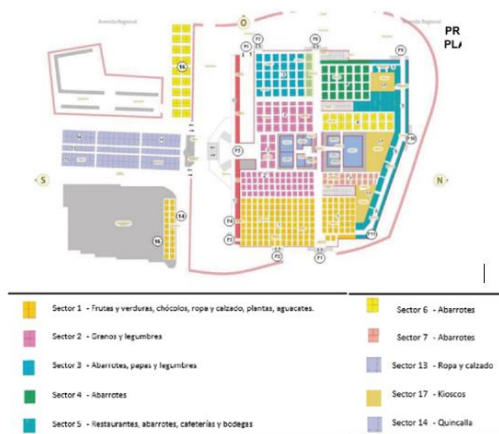
Resultados y Discusión

Exploración Puntos de Venta de la Plaza Minorista

Luego de realizar la consulta en el puesto de información de la plaza minorista se obtiene como población de estudio para la investigación un número de 20 locales comercializadores. De acuerdo a la distribución presentada en la figura 1. Que corresponde al mapa de la plaza minorista, se compraron las muestras en los sectores 2,4,6 y 7 donde están ubicados los granos, legumbres y abarrotos, se compraron muestras en 16 locales, para tener un nivel de confianza del 90%.

Figura 2

Mapa Planta Superior Plaza Minorista José María Villa



Nota. Tomado de Plaza minorista (s.f). <https://www.plazaminorista.com/sitio/ubiquese-en-la-plaza>

Contenido de Aflatoxinas en Muestras de Maíz de la Plaza Minorista.

Los análisis realizados mostraron que todas las muestras de maíz compradas estuvieron por debajo del límite de cuantificación 1,3 ppb como lo muestra la tabla 4.

Tabla 4*Resultados de Aflatoxinas en Maíz de la Minorista*

Muestra	Tipo de maíz	Color	Resultado Aflatoxinas totales (ppb)
1	Trillado	Blanco	<1.3
2	Trillado	Amarillo	<1.3
3	Trillado	Amarillo	<1.3
4	Trillado	Blanco	<1.3
5	Trillado	Amarillo	<1.3
6	Trillado	Amarillo	<1.3
7	Trillado	Blanco	<1.3
8	Trillado	Amarillo	<1.3
9	Trillado	Blanco	<1.3
10	Trillado	Blanco	<1.3
11	Trillado	Amarillo	<1.3
12	Trillado	Amarillo	<1.3
13	Trillado	Amarillo	<1.3
14	Trillado	Blanco	<1.3
15	Trillado	Amarillo	<1.3
16	Trillado	Amarillo	<1.3

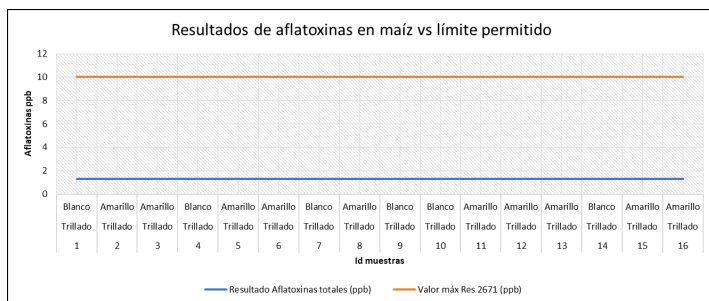
Nota. Elaboración propia (2025).

°El límite de cuantificación del método es 1,3 ppb.

Como podemos observar en la figura 3, los niveles de aflatoxinas encontrados en las muestras adquiridas en la plaza minorista José María Córdoba no representan riesgo para la salud de los consumidores, ya que están muy por debajo de los límites máximos establecidos por el ministerio de salud colombiano, en la resolución número 2671 de 2014, que modifica la Resolución 4506 de 2013.

Figura 3

Resultados de Aflatoxinas en Maíz vs Límite Permitido



Nota. Elaboración propia (2025).

Esto es crucial para la seguridad alimentaria de la región, ya que la exposición a altos niveles de aflatoxinas puede tener efectos cancerígenos, debilitar el sistema inmunológico y causar toxicidad hepática (Wild & Gong, 2010).

Estos resultados se alinean con un informe elaborado entre 2017 y 2018, cuando el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos llevó a cabo planes de vigilancia y control de micotoxinas en productos alimenticios como arepas, maní, arroz, avena y bienestarina. En total, analizaron 38 muestras de arepas para detectar aflatoxinas, y hallaron que solo el 2,63% de ellas superó el límite máximo permitido de 10 ppb. En el mismo estudio, también se examinaron 30 muestras de maní, y solo el 3,33% de estas sobrepasó los 10 ppb (INVIMA, 2020).

A su vez en 2023/2024 el FGIS (The Federal Grain Inspection Service) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) analizó 181 muestras, estas fueron tomadas de las principales rutas de exportación que son los puertos del Golfo, puertos del Noroeste del Pacífico, California y Ferrocarril del Sur para elaborar su informe de calidad de exportación del año 2023/2024 del consejo de granos de los Estados Unidos, donde los principales países a los que se exporta son México, Japón, China, Colombia y Canadá; En el reporte se encontraron que de las

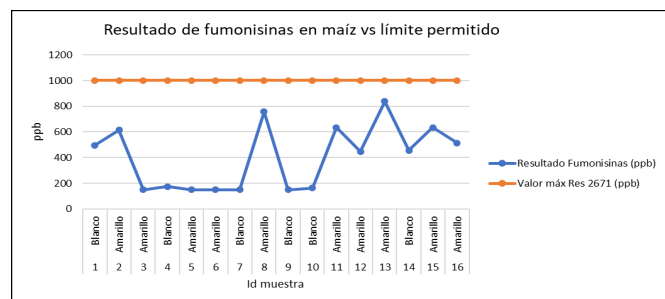
181 muestras analizadas, 165 de ellas (91,2%) no presentaron niveles detectables de aflatoxinas por encima de 5 ppb, luego encontraron que trece (13) muestras (7,2%) con niveles de aflatoxinas mayores o iguales a 5 ppb, pero menores a 10 ppb de las 181 muestras de exportación analizadas en 2023/2024, también de las 181 muestras analizadas en 2023/2024 3 de ellas (1,7%) presentaron niveles de aflatoxinas mayores o iguales a 10 ppb, pero por debajo o igual que el nivel de acción de la FDA que es de 20 ppb (U.S. Grains Council, 2024). Podemos relacionar estos estudios con los resultados encontrados en el maíz de la minorista, ya que los % superiores a 10 ppb son muy bajos tanto en el reporte del INVIMA y el del U.S Grains Council, teniendo en cuenta que según Caracol Radio (2024) Estados Unidos exportó a Colombia más de 4 millones de toneladas métricas de maíz.

Contenido de Fumonisinias en Muestras de Maíz de la Plaza Minorista

Como se muestra en la figura 4, los análisis realizados mostraron que todas las muestras de maíz compradas estuvieron por debajo de los niveles máximos (1000 ppb), establecidos en la resolución número 2671 de 2014, que modifica la Resolución 4506 de 2013.

Figura 4

Resultados de Fumonisinias en Maíz vs Límite Permitido



Nota. Elaboración propia (2025).

Lo anterior es de gran importancia debido a que, al no tener niveles por encima de los establecidos por el ministerio de salud, podemos inferir que este maíz es seguro para la salud de los consumidores, ya que el consumo de alimentos contaminados con niveles altos está asociado

a varios efectos negativos para la salud, tanto en humanos como en animales. Las fumonisinas están relacionadas con un mayor riesgo de cáncer de esófago, defectos del tubo neural y efectos inmunosupresores. En animales pueden causar leucoencefalomalacia equina, edema pulmonar en cerdos y daño hepático en diferentes especies (Voss et al., 2007).

En un estudio realizado por Salazar-González et al. (2020) donde el objetivo general de este estudio fue cuantificar las micotoxinas presentes en aislamientos de *Fusarium* provenientes de maíz, de una colección de muestras perteneciente a la Universidad Nacional de Colombia ubicada en Palmira (Valle), se encontraron altas concentraciones de fumonisinas, superando valores de 6000 ppb. Estos resultados evidencian que, a pesar de que en ciertos casos se detectan niveles bajos de estas micotoxinas, el maíz constituye un sustrato altamente susceptible a la contaminación por hongos del género *Fusarium*. Un manejo inadecuado durante la postcosecha, el almacenamiento o el procesamiento puede favorecer la acumulación de fumonisinas hasta niveles preocupantes, por lo que es importante hacer seguimiento y control en estas muestras. Cabe destacar que la producción de fumonisina B1 (FB1), cuya biosíntesis está regulada por el clúster génico FUM, depende de factores como el sustrato el genotipo del hongo y las condiciones ambientales. Estos elementos influyen directamente en la regulación de los factores de transcripción asociados a dicho clúster (Jurado et al, 2008).

También según el reporte del U.S Grains Council en su reporte de calidad de exportación para el año 2023/2024 con respecto a las fumonisinas en el maíz se encontraron los siguientes resultados:

De las 181 muestras analizadas, 176 (97,2%) resultaron por debajo de 5000 ppb, el límite de recomendación para animales (equinos y conejos) más bajo, de las 181 muestras analizadas, cuatro (2,2%) resultaron mayores o iguales a 5000 ppb, pero menos de 10000 ppb, y una muestra

(0,6%) resultó mayor o igual a 10000 ppb, pero no mayor a 30000 ppb, es decir que ninguna de las 181 muestras analizadas resultó mayor a 30000 ppb, que es el nivel de recomendación para animales reproductores rumiantes, aves y visones (U.S. Grains Council, 2024).

Si comparamos los valores encontrados en el maíz de la minorista con algunos estudios realizados en Colombia y el reporte de consejos de granos de Estados Unidos, los valores obtenidos en las muestras de maíz de la minorista están por debajo de los niveles que encontraron en el reporte del consejo de granos, esto se puede presentar debido a que gran cantidad del maíz que importa Colombia desde Estados Unidos es para alimentación animal.

Diferencia entre Maíz Amarillo y Maíz Blanco

Con el objetivo de analizar la diferencia en el contenido de micotoxinas en las muestras de maíz blanco y amarillo de la plaza minorista José María Córdoba de Medellín, se realizó un análisis de comparación de medias por el método LSD. En cuanto a los valores obtenidos para aflatoxinas totales, no es posible hacer dicha comparación dado que todos están por debajo del límite de cuantificación del método (Tabla 4). Por otro lado, los resultados para fumonisinas se muestran en la tabla 5, en la cual se presentan los resultados de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

La tabla ANOVA descompone la varianza de Fumonisinias (ppb) en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3,58, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos.

Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Fumonisinias (ppb) para las muestras de maíz amarillo y maíz blanco, con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 5

ANOVA para Fumonisinias (ppb) por Color Maíz

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	187768	1	187768	3,58	0,0792
Intra grupos	733303	14	52378,8		
Total (Corr.)	921071	15			

Nota. Elaboración propia (2025).

°El valor-P > 0,05

Tabla 6

Resumen Estadístico para Fumonisinias (ppb)

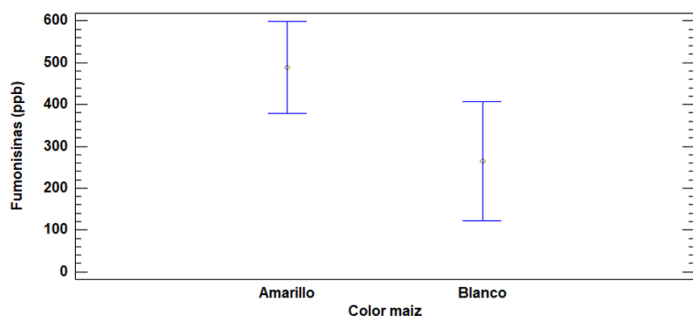
Color	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
Amarillo	10	488,6	257,83	52,77%	150	837	687
Blanco	6	264,83	164,30	62,04%	150	496	346
Total	16	404,68	247,8	61,23%	150	837	687

Nota. Elaboración propia (2025).

Podemos observar en la tabla 6, que el promedio de fumonisinias para el maíz amarillo fue de $488,6 \pm 257,8$ ppb, mientras que para el maíz blanco el promedio fue de $264,83 \pm 164,3$ ppb, así, aunque el promedio de los valores numéricos para fumonisinias en cada tipo de maíz parecen alejados, el análisis indica que no hay diferencias estadísticamente significativas debido a la alta desviación estándar encontrada en los análisis.

Figura 5

Medias y 95% de Fisher LSD



Nota. Elaboración propia (2025).

En la figura 5 podemos observar la media de Fumonisininas (ppb) para cada nivel de Color maíz, también muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0% de las veces.

Los altos coeficientes de variación en los resultados de las concentraciones de fumonisininas pueden deberse a las condiciones de los cultivos y manejo de postcosecha de los diferentes proveedores en cada punto de venta. Incluso en un mismo lote las micotoxinas no se reparten de manera uniforme en las materias primas, llevando a una alta variabilidad en los resultados de las pruebas (Nutrex,2020).

Conclusiones

Los niveles encontrados para aflatoxinas en las muestras de maíz adquiridas estuvieron por debajo de los límites de detección del método (1,3 ppb), mientras la media de fumonisinas para las muestras de maíz adquiridas fue de $404,68 \pm 247,8$ ppb.

Los niveles encontrados para aflatoxinas y fumonisinas en las muestras de maíz adquiridas, estuvieron por debajo de los límites establecidos en la resolución número 2671 de 2014, que modifica la Resolución 4506 de 2013, los cuales son máximo 1000 ppb para fumonisina y 10 ppb para aflatoxinas.

De acuerdo a la prueba estadística de comparación de medios por el método LSD, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de fumonisinas encontradas en el maíz blanco y el maíz amarillo, esto debido a que el valor-P fue mayor a 0,05.

Referencias Bibliográficas

- AESAN. (2020). Seguridad Alimentaria Micotoxinas. *Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición*.
- Agurto, P.J. (2023). *Una Revisión Literaria Sobre Las Aflatoxinas Presentes En El Maíz, Trigo Y Avena Cultivados, Almacenados Y Transportados Para Consumo Humano* [tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/10656>
- Alam, M. (2023, mayo 17). *¿Qué es la investigación cuantitativa? Definición, ejemplos, principales ventajas, métodos y buenas prácticas*. IdeaScale. <https://ideascale.com/es/blogs/que-es-la-investigacion-cuantitativa/>
- Alcalá, P. Muñoz, T. Peláez y E. Bouza, (2018). Aspergillus y aspergilosis. <https://www.seimc.org/contenidos/ccs/revisionestematicas/micologia/asperguillus.pdf>
- Alcaldía de Medellín. (2019). *Diagnóstico del comercio agrícola en la Plaza Minorista José María Villa*. Secretaría de Desarrollo Económico. <https://www.medellin.gov.co>
- Bennett, J. W., & Klich, M. (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3), 497-516. <https://doi.org/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003>
- Biomin. (2018). *Mycotoxins*. BIOMIN Holding GmbH, Erber Campus, Getzersdorf, Austria.
- Bogantes, P, et al., (2004). Aflatoxinas. *Acta Médica Costarricense*, 46 (4), 174-178. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022004000400004&lng=en&tlng=es.
- Bolsa Mercantil de Colombia (2023). *Análisis de producto. Maíz. Gerencia Corporativa de Análítica e Inteligencia de Negocios*, https://www.bolsamercantil.com.co/sites/default/files/2023-12/Analisis_de_producto_Maiz_2023.pdf.

- Caracol Radio. (2024, 26 de noviembre). *Exportación de maíz: Congreso de Estados Unidos preocupado por investigación colombiana*. Caracol Radio.
<https://caracol.com.co/2024/11/26/exportacion-de-maiz-congreso-de-estados-unidos-preocupado-por-investigacion-colombiana/>
- Chulli, E.S. (2023). *Contaminación De Micotoxinas En Alimentos Balanceados* [tesis de grado, Escuela Superior politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/19081>
- Creppy, E. E. (2002). Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe. *Toxicology Letters*, 127(1-3), 19-28. [https://doi.org/10.1016/s0378-4274\(01\)00479-9](https://doi.org/10.1016/s0378-4274(01)00479-9)
- Coppock, R. W., Christian, R. G., & Jacobsen, B. J. (2018). Aflatoxins. *Veterinary Toxicology*, 983-994. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811410-0.00069-6>
- De maría, P. (2017). Manual práctico micotoxinas en ganado lechero.
https://www.produccionanimal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/Micotoxicosis/57-Manual_Practico.pdf
- Deng, J., Zhao, L., Zhang, N. Y., Karrow, N. A., Krumm, C. S., Qi, D. S., & Sun, L. H. (2018). Aflatoxin B1 metabolism: Regulation by phase I and II metabolizing enzymes and chemoprotective agents. *Mutation Research Reviews in Mutation Research*, 778, 79-89.
<https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2018.10.002>
- Dirección de Alimentos y Bebidas - Invima. (2020). *Plan nacional subsectorial de vigilancia y control de micotoxinas en alimentos procesados durante el período 2020*.
https://www.invima.gov.co/sites/default/files/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/2023-09/DOCUMENTO%20T%C3%89CNICO%20MICOTOXINAS_2020.pdf

Elika Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria. (2013). *Aflatoxina B1*.

<https://agrinews.es/wp-content/uploads/2014/04/Aflatoxina-B1.pdf>

FAO – Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos*. <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0u.htm>.

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). (2021). *Panorama del maíz en Colombia*. Fenalce. <https://www.fenalce.org>

Fumonisina - ELIKA Seguridad alimentaria. (2023, 18 mayo). *ELIKA Seguridad Alimentaria*. <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/fumonisina/>

Gimeno & Martins (2011). *Micotoxinas y Micotoxicosis en Animales y Humanos. Special Nutrients*, <https://specialnutrients.com/pdf/book/3%20edicion%20MICOTOXINAS%20LR%20Secure.pdf>.

Hoyos, M; Ocampo, J. (s.f). *Producción y consumo del maíz en Colombia, descripción de la cadena y propuesta de estrategias para un mejor desempeño de la misma*. <file:///C:/Users/lcastro.APA/Downloads/tavogar,+336225-161325-1-CE.pdf>.

ICONTEC. (2012). Cereales y productos cereales. Muestreo (NTC271).

International Agency for Research on Cancer (IARC). (2002). *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene* (Vol. 82). World Health Organization.

Izquierdo, A. (2023). Día del Cereal: datos curiosos de este producto. *Revista P&M*

Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. (2020). *Plan Nacional Subsectorial de Vigilancia y Control de Micotoxinas en Alimentos*.

https://www.invima.gov.co/sites/default/files/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/2023-09/DOCUMENTO%20T%C3%89CNICO%20MICOTOXINAS_2020.pdf

Jurado, M., P. Marín, N. Magan y MT González-Jaén. 2008. Relación entre el estrés por soluto y potencial mátrico, la temperatura, el crecimiento y la expresión del gen FUMI en dos cepas de *Fusarium verticillioides* de España. *Appl. Environ. Microbiol.* 74(7), 2032-2036.
Doi: 10.1128/AEM.02337-07

Klich, M. A. (2002). *Identification of common Aspergillus species*. Centraalbureau voor Schimmelcultures.

Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing.

Lamoth, P. R. Juvvadi y W. J. (2016) Advances in *Aspergillus fumigatus* pathobiology”, *Frontiers in Microbiology* 7, Doi <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2016.00043>

Maniglia G. (2016). Determinación de aflatoxinas en alimentos balanceados para cerdos en granjas de los estados Aragua y Carabobo, Venezuela. *Revista Científica* 25 (3), 203-205.
<https://www.redalyc.org/pdf/959/95939206003.pdf>

Marin, S., Ramos, A. J., Cano-Sancho, G., & Sanchis, V. (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 218-237.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.047>

Mazzani, C. 1996. Ocurrencia de hongos toxigénicos en granos. In: Luis Celso Hyginio da Cruz (ed.). *Micotoxinas: perspectiva latinoamericana*. Río de Janeiro, Brasil. Editora Universidade Rural

Ministerio de Salud y Protección Social (2013). Resolución 4506. Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se

dictan otras disposiciones.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4506-de-2013.pdf>.

Ministerio de Salud y Protección Social (2014). Resolución 2671. Por la cual se modifica la tabla 1 del artículo 4 de la resolución 4506 de 2013.

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%202671%20de%202014.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Boletín de cultivos: Maíz en Colombia*.

<https://www.minagricultura.gov.co>

Molino Foss Cyclotec CT 293. (2018, octubre 16). ICSA. <https://www.icsa.es/catalogo-equipos/molino-foss-cyclotec-ct-293/>

Nutrex. (2020, mayo 4). *Micotoxinas: Efectos sinérgicos y su impacto amplificado en la salud y la producción animal*. Nutrex. <https://www.nutrex.eu/es/articulos/micotoxinas-un-contrincante-a-tener-en-cuenta/>

Odjo, S.(2023) *Las micotoxinas, un peligro visible para la salud del consumidor*

<https://www.cimmyt.org/es/noticias/las-micotoxinas-un-peligro-invisible-para-la-salud-del-consumidor/>.

Organización Mundial de la salud; (2 de octubre de 2023). *Micotoxinas*.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>.

Paliwal, R. L. (2001). *EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento Y Producción*.

<https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm#toc>

Ramos Girona, A. J., Marín Sillué, S., Molino Gahete, F., Vila Donat, P. y Sanchis Almenar, V. (2020). Las micotoxinas: el enemigo silencioso. *Arbor*, 196 (795): a540.

<https://doi.org/10.3989/arbor.2020.795n1004>

Ramírez, F. (2020). Determinación de la eficiencia antimicótica del extracto acuoso de Flor de Sospó (*Pseudobombax ellipticum*) en los hongos *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus* y *Candida albicans*. [tesis profesional, Instituto Tecnológico Superior De Atlixco]. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/5481>

Retana, K., Ramírez-Coché, J. A., Castro, O., Blanco-Meneses, M., Retana, K., Ramírez-Coché, J. A., Castro, O., & Blanco-Meneses, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* F. SP. Apii asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 115-126.

<https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32199>

Riley, R. T., & Voss, K. A. (2006). Differential sensitivity of rats and mice to fumonisin B1 toxicity: A toxicokinetic explanation. *Toxicological Sciences*, 92(2), 480-488.

<https://doi.org/10.1093/toxsci/kfj206>

Raj, J; Farkas, H; (2023). *Mayor prevalencia de Fumonisinias y Ácido fusárico en el maíz cosechado en 2022*. Estudio de PATENT CO.

<https://issuu.com/grupoagrnews/docs/prevalencia-mycotoxins-maiz-2022-es#:~:text=La%20Tabla%205%20muestra%20que,de%20las%20muestras%20de%20ma%C3%ADz.>

Robledo R.G.; Zambrano M.; Bueno A.; Navidad M.S.; Ventura G.H.; Toledo G.A. (2017).

Determinación de fumonisinias en maíz de consumo humano y forrajero expedido en la

ciudad de Tepic. *Revista Bio Ciencias* 4(5)

13. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/334/298>

Rushing, B. R., & Selim, M. I. (2019). Aflatoxin B1: A review on metabolism, toxicity, occurrence in food, occupational exposure, and detoxification methods. *Food and Chemical Toxicology*, 124, 81-100. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.11.047>

Salazar C., Velásquez, D., & Gómez, E. (2020). Detection of mycotoxins produced by *Fusarium* species in Colombia.

https://www.redalyc.org/journal/1803/180376041005/html/?utm_source=chatgpt.com

Soriano, M. (2007). *Micotoxinas en alimentos*. España: Diaz de santos

Statista. (14 de febrero de 2023). *Producción de cereales en todo el mundo en 2022/2023, por tipo*. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/1140499/produccion-mundial-decereales-por-tipo/>

Tax, V; Escobar, M; Rodríguez, A y Monzón, C. (2019). *Maíz: Incidencia de aflatoxinas y fumonisinas en producciones excedentarias del norte de Guatemala*

<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/4%20MAIZ%20NORTE/Aflatoxinas-Ver%C3%B3nica%20Tax-ICTA%20CINOR/Ma%C3%ADz%20incidencia%20de%20aflatoxinas%20y%20fumonisinas%20en%20producciones.pdf>

University of Minnesota Extension. (2024). *Pudrición de la mazorca y micotoxinas*. Recuperado de <https://es.extension.umn.edu/corn-ear-rots-and-mycotoxins>

U.S. Grains Council. Informe de la calidad del maíz para exportación 2023/2024. (2024).

https://grains.org/ltamex/wp-content/uploads/sites/6/2024/04/2023-2024-USGC-Corn-Export-Report_ESP.pdf

Voss, K. A., Smith, G. W., & Haschek, W. M. (2007). Fumonisin: Toxicokinetics, mechanism of action and toxicity. *Animal Feed Science and Technology*, 137(3-4), 299-325.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.007>

Valdivia, N. (2023). *Fumonisin B1: Problemática Y Métodos De Análisis Para Su Determinación En Maíz Y Derivados* [trabajo de grado, Universidad De Jaén].

<https://hdl.handle.net/10953.1/20124>

Velásquez Ortiz, D. (2022). *Caracterización morfológica y molecular de hongos toxigénicos asociados a la mazorca de maíz en el Valle del Cauca, Colombia*. [trabajo de grado,

Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83406>

Wild, C. P., & Gong, Y. Y. (2010). Mycotoxins and human disease: A largely ignored global health issue. *Carcinogenesis*, 31(1), 71-82. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgp264>

Apéndices

Apéndice A

Resultados Aflatoxinas

Lateral Logic

S-Flow Session Report

Date 29/07/2024
Time 12:55 p. m.
Session Title
Product Symmetric Total Green 0-30
Lot Number S34XX062
Matrix Type I

No	1
ID	Maíz_blanco_ Muestra_1
Dilution Factor	None
Results	<1,3 ppb



Software S-Flow 2.0.3.8
Device 3PR Mini GLX4gEhY
Location
Operator
Supplier
57,593,1-3,4-727



Lateral Logic

S-Flow Session Report

Date 12/08/2024
Time 3:19 p. m.
Session Title
Product Symmetric Total Green 0-30
Lot Number S34XX062
Matrix Type I

No	1
ID	Maíz_Amarillo_ Muestra_16
Dilution Factor	None
Results	<1,3 ppb



Software S-Flow 2.0.3.8
Device 3PR Mini GLX4gEhY
Location
Operator
Supplier
79,5140,1-5,2-727

Apéndice B

Resultados Fumonisinás



S-Flow Session Report

Date 14/08/2024
Time 3:09 p. m.
Session Title
Product Symmetric FUMO Green
Lot Number S70XX062
Matrix Type I

No	1
ID	Maiz_Fumo_BI anco_#1
Dilution Factor	None
Results	496 ppb



Software S-Flow 2.0.3.8
Device 3PR Mini GLX4gEhY
Location
Operator
Supplier
88,385,6496,4-727



Lateral Logic

S-Flow Session Report

Date 15/08/2024
Time 4:14 p. m.
Session Title
Product Symmetric FUMO Green
Lot Number S70XX062
Matrix Type I

No	1
ID	Maiz_amarillo_ 16
Dilution Factor	None
Results	513 ppb



1

Software S-Flow 2.0.3.8
Device 3PR Mini GLX4gEhY
Location
Operator
Supplier
135,3126,9513,1-727

Apéndice C

Registro Fotográfico Muestras de Maíz



Apéndice D

Kit de Fumonisin para Análisis de Flujo Lateral



Apéndice E

Instrumentos Utilizados

