



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
CARRERA AGROINDUSTRIA

**“EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICOTOXINAS EN
MUESTRAS DE MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays*) EN
DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

AUTORA: JOHANNA ALEXANDRA MEDINA BARRAGÁN

DIRECTORA: BQF. MARÍA VERÓNICA GONZÁLEZ CABRERA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Johanna Alexandra Medina Barragán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Johanna Alexandra Medina Barragán, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24/01/2024



Johanna Alexandra Medina Barragán

060404638-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
CARRERA AGROINDUSTRIA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Trabajo Experimental, **“EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICOTOXINAS EN MUESTRAS DE MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays*) EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO”** realizado por la señorita: **JOHANNA ALEXANDRA MEDINA BARRAGÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Lucia Vanessa Cabascango Martínez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-01-24
Bqf. María Verónica González Cabrera DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-24
Bqf. Carmen Alicia Zavala Toscano ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-24

DEDICATORIA

Me llena de satisfacción poder dedicar mi trabajo principalmente, a Dios por permitirme llegar hasta aquí, darme la fuerza para lograr mis objetivos y culminar esta etapa en mi vida. A mis padres ya que siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y gracias a ellos me he convertido en la persona que soy hoy en día, me enseñaron buenos valores, principios y han hecho de mí una mejor persona, siempre con sus palabras de aliento me ayudaron a ser perseverante y seguir adelante para cumplir con mis propósitos. A mis hermanos que siempre me han estado brindando motivación y buenos consejos y finalmente a mis sobrinos por sus deseos positivos y cariño.

Johanna

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido tener una buena experiencia y lograr culminar mi proceso de formación profesional. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial a la Facultad de Ciencias Pecuarias por haberme abierto las puertas de su distinguida institución, para hoy poder ser una profesional de calidad llena de valores éticos y a mis queridas docentes, por haberme brindado sus conocimientos durante esta etapa de formación.

Johanna

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY / ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
2.1 Maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i>).....	5
2.1.1 Generalidades.....	5
2.1.2. Requerimientos climáticos y edáficos.....	6
2.1.3. Condiciones de almacenamiento del grano.....	7
2.1.2. Requisitos específicos del maíz en grano durante la recepción.....	7
2.1.2.1 <i>Requisitos físicos del maíz</i>	7
2.2 Micotoxinas.....	8
2.2.1 Generalidades.....	8

2.2.2	Clasificación de las micotoxinas	9
2.2.2.1	<i>Aflatoxinas</i>	9
2.2.2.2	<i>Fumonisin</i> as	10
2.2.2.3	<i>Ocratoxina</i>	11
2.2.2.4	<i>Zearalenona</i>	12
2.2.3	Factores que favorecen la producción de micotoxinas	13
2.2.4	Métodos de análisis de micotoxinas	14

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	15
3.1	Localización y duración del experimento	15
3.2	Unidades experimentales	15
3.3	Materiales, equipos e insumos	15
3.3.1	<i>Materiales</i>	15
3.3.2	<i>Equipos</i>	16
3.3.3	<i>Insumos</i>	16
3.3.4	<i>Materia prima</i>	16
3.4	Tratamiento y diseño del experimento	16
3.4.1	<i>Tratamientos</i>	16
3.4.2	<i>Diseño experimental</i>	17
3.5	Mediciones experimentales	17
3.5.1	<i>Análisis Microbiológico</i>	17
3.5.2	<i>Análisis Físico Químico</i>	18
3.6	Análisis estadísticos y pruebas de significancia	18
3.7	Procedimiento experimental	18
3.7.1	<i>Ambientación de las muestras</i>	18
3.8	Metodología de evaluación	19
3.8.1	<i>Análisis microbiológicos</i>	19

3.8.1.1	<i>Micotoxinas</i>	19
3.8.2	<i>Análisis fisicoquímicos</i>	19
3.8.2.1	<i>Humedad</i>	19
3.8.2.2	<i>Materia seca</i>	20
3.8.2.3	<i>Proteína</i>	20

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	21
4.1	Resultados de los análisis microbiológicos	21
4.1.1	<i>Aflatoxinas</i>	22
4.1.2	<i>Fumonisinás</i>	23
4.1.3	<i>Zearalenona</i>	23
4.1.4	<i>Ocratoxinas</i>	24
4.2	Resultados de los análisis fisicoquímicos	24
4.2.1	<i>Humedad</i>	25
4.2.2	<i>Materia seca</i>	26
4.2.3	<i>Proteína</i>	27
	CONCLUSIONES	29
	RECOMENDACIONES	30
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXO	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Requerimientos climáticos y edáficos	7
Tabla 2-2: Requisitos físicos del maíz	8
Tabla 2-3: Tipos de hongos productores de micotoxinas.....	9
Tabla 2-4: Límite legal de permisión en productos para alimentación animal	11
Tabla 2-5: Métodos de detección de micotoxinas.....	14
Tabla 3-1: Esquema del experimento.....	17
Tabla 3-2: Esquema del ADEVA.....	18
Tabla 3-3: Parámetros utilizados en cada tratamiento	19
Tabla 4-1: Resultados microbiológicos de las muestras de maíz	21
Tabla 4-2: Resultados de los análisis fisicoquímicos.....	24

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

ANEXO B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA

ANEXO C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA

ANEXO D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE
AFLATOXINAS (ppb)

ANEXO E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE
FUMONISINAS (ppm)

RESUMEN

La investigación realizada tuvo como objetivo evaluar la presencia de micotoxinas en muestras de maíz amarillo duro (*Zea mays*) en diferentes condiciones de almacenamiento. Para efectuar el estudio, se determinó un total de 12 unidades experimentales distribuidas en tres tratamientos con cuatro repeticiones, las cuales fueron evaluadas mediante análisis microbiológicos donde se determinó la presencia de Micotoxinas por el método Elisa, un análisis físico químico donde se evaluó humedad, materia seca por medio de la utilización de una termobalanza y proteína por el método Kjeldahl. Para el análisis microbiológico y fisicoquímico se utilizó el software estadístico Infostat 2020 aplicando un diseño completamente al azar simple y prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los resultados reportados en esta investigación determinan diferencias altamente significativas para: Aflatoxina (2,25 partes por billón a 7,53 partes por billón) y Fumonisin (0,80 partes por millón a 5,88 partes por millón), mientras que para Zearalenona y Ocratoxinas se determinaron concentraciones de <5 partes por billón y <2 partes por billón respectivamente. Se mostraron diferencias altamente significativas para humedad, materia seca y proteína por efecto de los tratamientos. Se concluye que el tratamiento 75% humedad relativa y 15°C temperatura de almacenamiento presentó las mejores características bromatológicas y microbiológicas al identificarse menor concentración de micotoxinas en las muestras. Se recomienda socializar a la población en general la importancia de las condiciones de almacenamiento del maíz para evitar la propagación de micotoxinas.

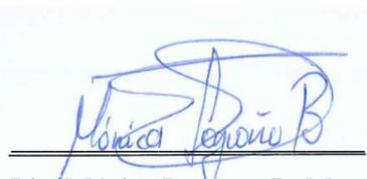
Palabras clave: <MAÍZ >, < MICOTOXINAS>, <12 UNIDADES EXPERIMENTALES >, <CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO>, <CONCENTRACIONES >.



ABSTRACT

This research aimed to evaluate the mycotoxins presence in samples of yellow dent corn (*Zea mays*) under different storage conditions. The Research methodology involved 12 experimental units distributed among three treatments with four replications each and submitted to microbiological analyses to determine the presence of mycotoxins in the experimental units using the ELISA method. Also, physicochemical analysis assessed moisture content, dry matter using a thermobalance, and protein content through the Kjeldahl method. Statistical analysis was performed using Info stat 2020 software, employing a completely randomized design and Tukey's test ($P \leq 0.05$) for microbiological and physicochemical analyses. The findings revealed highly significant differences in Aflatoxin (ranging from 2.25 parts per billion to 7.53 parts per billion) and Fumonisin (from 0.80 parts per million to 5.88 parts per million). However, concentrations of Zearalenone and Ochratoxins were determined to be <5 parts per billion and <2 parts per billion, showing no significant differences. Notably, significant differences were observed in moisture content, dry matter, and protein because of different treatments. Finally, the treatment involving 75% relative humidity and a storage temperature of 15°C exhibited the best bromatological and microbiological characteristics because of its lower concentrations of mycotoxins in the samples. Therefore, it is essential to raise awareness among the general population regarding the importance of proper corn storage conditions to prevent the proliferation of mycotoxins.

Keywords: <CORN>, <MYCOTOXINS>, <12 EXPERIMENTAL UNITS>, <STORAGE CONDITIONS>, <CONCENTRATIONS>.



Lic. Mónica Logroño B. Mgs.

060274953-3

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los productos agrícolas con gran importancia en el Ecuador. Según datos oficiales, a nivel nacional se cosecha una superficie de 341.3 miles de hectáreas de maíz duro, con una producción de 1.3 millones de toneladas notándose un incremento del 7% del año 2019 al 2020, identificándose a la provincia de los Ríos como la principal productora (INEC, 2021, pág. 10). Según (Baca, 2016, pág. 50), la producción del maíz amarillo duro está destinada entre un 70% a la fabricación de alimentos balanceado, 9% de este maíz es usado para el autoconsumo como semilla, 3.10% se destina para la exportación y un 1,60% es propuesto para el consumo humano. Esta variedad de maíz representa entre el 60 a 75% de las dietas usadas en la crianza de animales y ayuda con un significativo aporte de energía y un moderado aporte de proteína, la importancia de este maíz se ve resaltada dentro de la elaboración de otros productos pecuarios como la carne de pollo, huevos y carne de cerdo y la necesidad de su producción con el fin de satisfacer la demanda local (Galiano, págs. 29-30).

El término “micotoxina” normalmente está reservado a los productos químicos tóxicos producidos por unas pocas especies de hongos o mohos con capacidad para infestar cosechas en el campo o después de la cosecha y que representan un riesgo potencial para la salud de las personas y los animales, generalmente consideradas como uno de los peligros sanitarios que provocan afecciones en cereales y derivados. La mayoría de las micotoxinas son químicamente estables y tienden a permanecer durante el almacenamiento y el procesamiento de los productos, incluso cuando estos productos son sometidos a altas temperaturas (AFHSE, 2015, págs. 6-10).

Debido a esta alta probabilidad de contaminación de alimentos por micotoxinas, es necesario monitorear continuamente los productos para evitar la exposición de los consumidores a estos contaminantes. Se han desarrollado múltiples métodos para la detección y cuantificación de micotoxinas, estas incluyen técnicas cromatográficas como Cromatografía en Capa Delgada (TLC), Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) y Cromatografía Gaseosa (GC). Por otro lado, numerosos ensayos basados en inmunología como ELISA e IAC este tipo de técnicas son mencionadas por López et al., (2020, pág. 12), donde destaca la utilización de estos dos últimos en sitios destinados para el almacenamiento de granos.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por hongos. Las aflatoxinas son unas micotoxinas generadas por hongos asociados por *Aspergillus paraciticus*, *A. flavus*, mismo que se identifica en alimentos como el maní, pistacho, nueces, maíz y demás cereales, así como también las Fumonisinias que se asocian con hongos como el *Fusarium verticillioides*, *F. proliferatum* los cuales se presentan en el maíz y otros cereales (Requena, et, al. 2005. págs. 394-410). Al hablar de metabolitos secundarios, su producción dependerá de la temperatura y humedad, afectando directamente durante el cultivo, recolección, transporte y almacenamiento de las diferentes materias primas. Se logran desarrollar en climas húmedos y a temperaturas elevadas su producción máxima se encuentra entre los 24 y 28° centígrado y una Humedad relativa de 75% - 80% y en presencia de grandes cantidades de nutrientes. Las micotoxinas al ser compuestos termoestables y resistentes, persisten tras el proceso de secado molienda y procesado de diferentes cereales, las cuales son contaminantes comunes de diferentes alimentos principalmente cereales, pero también se encuentra su presencia en pastas, frutas, miel, huevos, nueces y frutos secos, entre otros además de no reducirse mediante la cocción a la que son sometidos los alimentos (Elika, 2018, pág.1).

De acuerdo con lo mencionado por la FAO (Organización mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación), el 25% de los cultivos alimentarios se ven afectados por hongos productores de micotoxinas, las pérdidas han llegado ascender a 1.000 millones de toneladas al año lo cual desencadena una gran pérdida económica ya que su presencia se asocia a afecciones en la salud humana, productividad animal y el comercio mundial (Elika, 2018, pág.1). En el 2017 los riesgos por micotoxinas se encontraban en segunda posición con el 18,5%, identificándose que el 80% de los casos es causado por Aflatoxinas (Elika, 2017, págs.2-5).

1.2 Planteamiento del problema

La FAO estima que el 25% de los cultivos a nivel mundial se ven afectados por la contaminación con micotoxinas año a año, siendo representantes de pérdidas anuales de mil millones de toneladas métricas de alimentos y productos alimenticios. Por lo que la contaminación con micotoxinas es crucial en la producción de maíz siendo visto este desde el lado de seguridad alimentaria ya que esta materia prima es destinada para la alimentación animal, humana, industria y producción de

energía. La variedad de especies toxicogénicas en el maíz se ven influenciadas por ciertos factores climáticos, así como también por un mal manejo en las labores culturales tales como, el tipo de siembra, el uso de plaguicidas entre otros (Gelderen, et al., 2018, pág.1).

Ahora bien, se debe considerar que una de las mayores pérdidas económicas hacia los agricultores se produce principalmente por el menor rendimiento por hectárea en los cultivos, además de la reducción del valor del grano y uno de los más importantes y que vincula directamente a la Agroindustria los efectos que se provocan en la salud humana, considerándose a estos como enfermedades de transmisión alimentaria (Gelderen, et al., 2018, pág.2).

1.3 Justificación

Las micotoxinas al ser metabolitos secundarios producidos por hongos filamentosos pertenecientes en su mayor parte a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* son capaces de desencadenar efectos adversos en la salud humana y en los animales (OMS, 2018, pág.1). Estas se pueden encontrar de modo natural en un gran número de productos agrícolas principalmente en maíz, trigo, cebada, sorgo, arroz y frutos secos, en los que por lo general encuentran un sustrato de alto valor nutritivo para su desarrollo los cuales son utilizados como materias primas para la preparación de alimentos balanceados para animales.

Cuando se ingieren micotoxinas, pueden causar efectos crónicos o agudos conocidos como micotoxicosis. Además del riesgo para la salud humana, las micotoxinas tienen un impacto significativo en las economías y el comercio. Las principales consecuencias de esta contaminación son la pérdida de cultivos, la eliminación de granos contaminados, la disminución de la producción animal, el aumento de los costos de salud humana y animal, el aumento de los costos de control y regulación, y la inversión en investigación, en algunos casos, incluso los alimentos exportados son rechazados por regulaciones estrictas que generan pérdidas de millones de dólares (López et al., 2020, pág.3).

Por lo que es importante una implementación de métodos para poder detectar micotoxinas en estas materias primas para evitar contaminaciones en productos que hayan pasado por un proceso y garantizar a la población que los alimentos estén inocuos, que posean seguridad alimentaria, de la misma manera ayudar al sector primario ya que este tipo de problemáticas son causantes de grandes pérdidas económicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la presencia de micotoxinas en muestras de maíz amarillo duro (*Zea mays*) en diferentes condiciones de almacenamiento.

1.4.2 Objetivos específicos

Evaluar la presencia de micotoxinas en el maíz duro amarillo (*Zea mays*) en diferentes condiciones de humedad al (75%, 80%,85%) y temperatura al (15°C, 25°C, 35°C).

Analizar el porcentaje de humedad, materia seca y proteína en las muestras de grano almacenados bajo las tres condiciones planteadas.

Determinar las condiciones óptimas de almacenamiento para el maíz duro amarillo (*Zea mays*).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Maíz amarillo duro (*Zea mays L.*)

2.1.1 Generalidades

El maíz es una gramínea anual originaria y domesticada por los pueblos indígenas en el centro de México e introducida en Europa en el siglo XVII. En la actualidad este es el cereal con mayor volumen de producción a nivel mundial (Mycotoxinsite, 2023, p1.). El maíz amarillo duro en el Ecuador es uno de los productos agrícolas más importantes de la economía nacional. Siendo esta la materia prima más utilizada para la elaboración de alimentos concentrados (balanceados) destinados a la industria animal, especialmente a la avicultura comercial, que es una de las actividades más dinámicas del sector agropecuario (Villavicencio y Zambrano, 2014, pág.3)



Ilustración 2-1: Maíz (*Zea mays L.*)

Fuente: INIAP,2014

En Ecuador las zonas de producción se ubican en la provincia de los Ríos (38,3%), Manabí (30,6%), Guayas (17,2%) y otras provincias (13,9%) (ESPAC, 2022, pág. 25). Además, se destaca que la simbra de esta materia prima generalmente se da en épocas de lluvia. En la ilustración 2-2 podemos identificar la producción de maíz desde el año 2016 al 2020, donde se identifica a la provincia de los Ríos como la que mayor superficie cosechada ha mantenido seguido de la provincia de Manabí (CFN, 2021, pág.7).

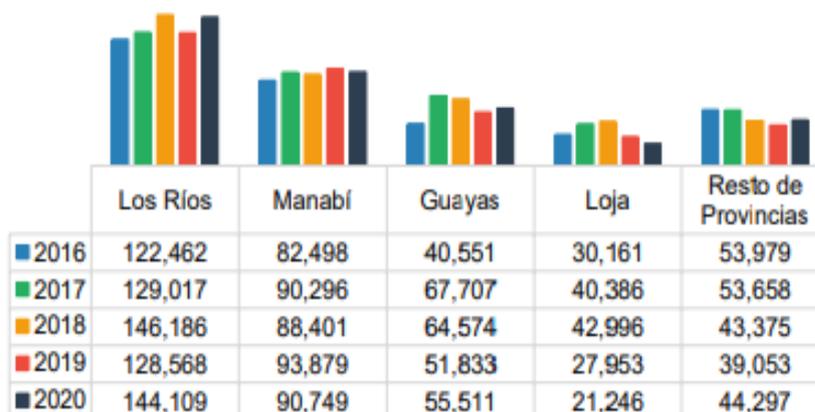


Ilustración 2-2: Superficie cosechada (ha) por provincia

Fuente: CFN, 2021, pág.7

Gracias a la encuesta realizada por ESPAC, (2022, pág.8), la superficie de maíz sembrada a nivel nacional representa el 38,7% en la totalidad respecto a otros tipos de cultivos transitorios como se puede observar en la ilustración 2-3.

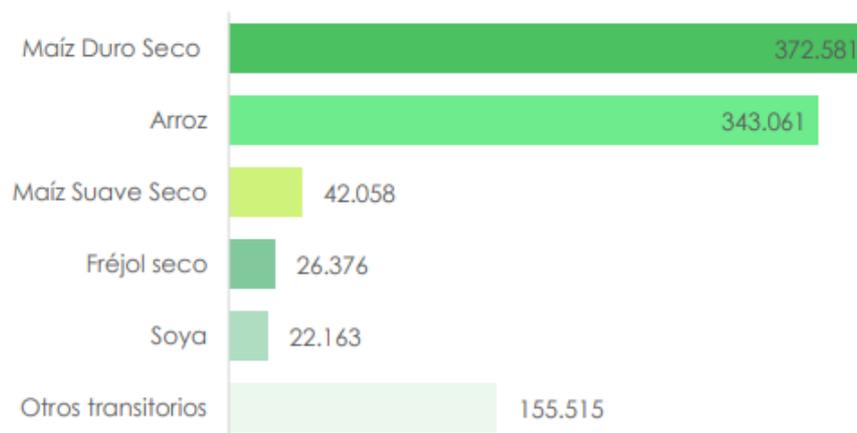


Ilustración 2-3: Superficie sembrada de cultivos transitorios

Fuente: ESPAC, 2022, p.8

2.1.2. *Requerimientos climáticos y edáficos*

En la tabla 2-1. Se pueden identificar las condiciones agroecológicas del cultivo del maíz, donde se puede identificar la precipitación, temperatura, altitud, suelo, pH, radiación solar factores físicos que permiten el desarrollo de este cultivo.

Tabla 2-1: Requerimientos climáticos y edáficos

PRECIPITACIÓN	550mm A 2000mm/año
TEMPERATURA	24-28°C
ALTITUD	45 a 125 msnm
SUELO	Topografía plana e irregular, textura franca y profundos. Buen drenaje superficial
pH	5.5 a 7.3
RADIACIÓN SOLAR	750 a 1000 horas luz/año

Fuente: INIAP,2014

2.1.3. Condiciones de almacenamiento del grano

De acuerdo con lo mencionado por De la Torre et al., (2016, pág.1), para aumentar la probabilidad de conservar los atributos del maíz durante su almacenamiento el grano debe estar:

SECO (contenido de humedad igual o inferior a 14,5%)

FRIO (17°C o inferior)

LIMPIO (sin partículas extrañas, polvo, grano partido etc.)

SANO (poca incidencia de enfermedades, fundamentalmente fúngicas).

La humedad del grano puede oscilar entre 12 y 13%, y el lugar de almacenamiento del grano deberá encontrarse limpio, desinfectado de manera interna como externa, además de encontrarse protegida contra el ataque de roedores y pájaros (INEN 187, 2013, pág.4).

2.1.2 Requisitos específicos del maíz en grano durante la recepción

Según la Norma INEN 187, (2013, pág.2), el grano debe ser inocuo y apropiado para el consumo humano, debe encontrarse exento de; sabores, olores extraños, suciedad. Se permite como máximo el 5% de granos de otros colores.

2.1.2.1 Requisitos físicos del maíz

El grano deberá cumplir con los parámetros que establece la norma INEN 187, como se puede observar en la tabla 2-2, donde se puede identificar que se evalúa la humedad, materias organizadas extrañas, materias inorgánicas extrañas, suciedad, granos defectuosos, granos infectados y otros granos.

Tabla 2-2: Requisitos físicos del maíz

REQUISITO	VALORES	
	Mínimo	Máximo
Humedad, %(m/m)	-	13,0%
Materias orgánicas extrañas, %(m/m)	-	1,5%
Materias inorgánicas extrañas, % (m/m)	-	0,5%
Suciedad, %(m/m)	-	0,1%
Granos defectuosos (dentro del que se encuentran los granos infectados) %(m/m)	-	7%
Granos infectados, %(m/m)	-	0,5%
Otros granos	-	2,0%

NOTA 1. Además debe estar exento de las siguientes semillas tóxicas o nocivas que, en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana: la crotalaria (*Crotalaria* spp.), la neguilla (*Agrostemma githago* L.), el ricino (*Ricinus communis* L.), el estramonio (*Datura* spp.) y otras semillas, son comúnmente reconocidas como nocivas para la salud.

Fuente: INEN 18, 2013, pág.3

2.2 Micotoxinas

2.2.1 Generalidades

Bennett (1987) citado por Santillán et, al, (2017, pág.2), definió las micotoxinas como “compuestos naturales de bajo peso molecular producidos por hongos microscópicos que generan una respuesta tóxica cuando son introducidos en concentraciones bajas en animales por una ruta natural”.

Las micotoxinas son compuestos químicos producidos de forma natural por una serie de hongos, principalmente, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Alternaria* bajo unas condiciones óptimas de temperatura. Por su capacidad toxigénica las micotoxinas más importantes son: aflatoxinas, ocratoxinas, zearalenona y las fumonisinas. Varias especies de hongos pueden representar un peligro para la salud humana y animal, al igual en la actividad agrícola, debido a que pueden ser patógenos de una gran variedad de especies de todos los grupos biológicos, y son capaces de producir compuestos tóxicos con efectos negativos sobre la salud y, en casos extremos, provocan la muerte del organismo afectado (Serrano y Cardona, 2015, p.144).

Los cereales son los cultivos que se ven afectados principalmente por las micotoxinas, los cuales se infestan con el hongo antes y durante la cosecha o el almacenamiento. Actualmente, más de 400 toxinas producidas por 350 especies de hongos han sido aisladas y caracterizadas; de éstas, las investigaciones se han enfocado en aquellas que causan daños significativos a humanos y animales (Brase, Encinas, Keck y Nising, 2009) citado en Santillán et al., (2017, pág.3).

En la tabla 2-3 se pueden identificar los tipos de hongos que producen micotoxinas y la toxina que estos generan identificándose a 5 como los principales.

Tabla 2-3: Tipos de hongos productores de micotoxinas

HONGO	TOXINA
<i>Aspergillus</i>	<ul style="list-style-type: none">• Aflatoxinas• Sterigmatocistina• Ocratoxina A
<i>Fusarium</i>	<ul style="list-style-type: none">• Tricotocenos• Zearelenonas• Fumonisinias• Furarina• Moniliformina
<i>Penicilium</i>	<ul style="list-style-type: none">• Patulina• Citrina• Ocratoxina A
<i>Alternaria</i>	<ul style="list-style-type: none">• Alternariol• Ácido tennazónico
<i>Claviceps</i>	<ul style="list-style-type: none">• Alcaloides

Fuente: Carrillo, 2003 citado en Combita y Mildenberg, 2009, pág.33

2.2.2 Clasificación de las micotoxinas

2.2.2.1 Aflatoxinas

Las aflatoxinas son consideradas como un grupo de compuestos químicos orgánicos no proteicos, que poseen un bajo peso molecular y se encuentra formada por un anillo de furano unido a un núcleo de cumarina. Estos son producidos generalmente por hongos como el *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* y *A. moninus* (Martínez et al., 2013, pág.91).

Este tipo de micotoxinas se han detectado como gran contaminante natural en una gran parte de los productos agrícolas en América latina considerándose, así como una de las micotoxinas que se encuentra en gran parte de los alimentos de primera necesidad. Entre estos alimentos se pueden identificar aquellos más susceptibles a este tipo de contaminación fúngica incluyendo típicamente a cultivos como los del maíz, cacahuates, pistachos, nueces de Brasil, semillas de algodón y pulpa seca de coco sin embargo de acuerdo con investigaciones también se ha detectado la presencia de este tipo de aflatoxina en semillas oleaginosas como el girasol y la soja entre otros alimentos así lo menciona Martínez et al., (2013, pág.91).

Ecuador es uno de los países que presenta una incidencia del 26% de aflatoxina en alimentos como la harina de maíz identificándose al tipo de aflatoxina b1 en una concentración de 4,34 a

11,26 microgramos por kilogramo, dónde también se puede identificar al maíz como aquel alimento que presenta mayor incidencia de este tipo de mico toxinas en países como México, Argentina, Perú y Colombia (Martínez et al., 2013, pág.92). En la ilustración 2-4 podemos observar la estructura de los diferentes tipos de aflatoxinas que existen.

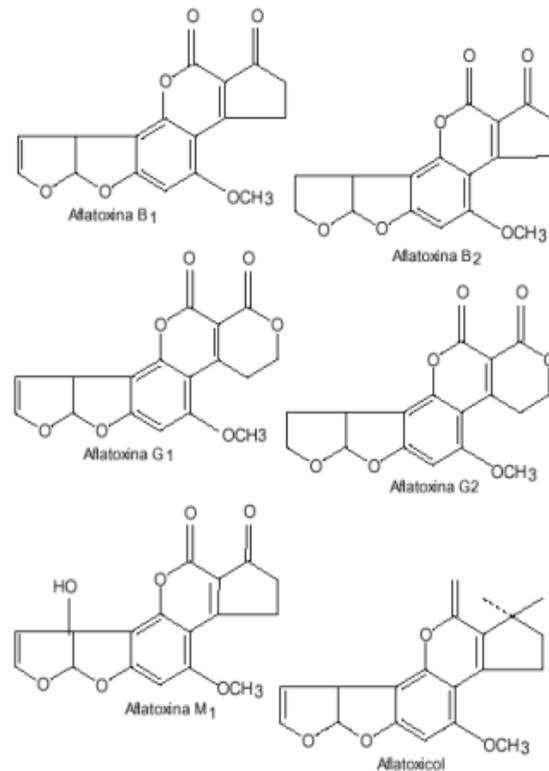


Ilustración 2-4: Estructura de las principales aflatoxinas

Fuente: FAO, 1991 Citado en Rojas y Wilches, 2009, pág. 3.

2.2.2.2 Fumonisinias

Las Fumonisinias son producidas por el *Fusarium moniliforme* y *F. proliferatum*. Estos hongos comúnmente infectan el maíz y el arroz, por lo tanto, es común encontrar Fumonisinias en productos alimenticios (Duque, 2015, pág.79). Ha sido principalmente estudiada en cerdos, se sabe que se absorbe en el tracto gastrointestinal de mamíferos por difusión pasiva debido a su comportamiento polar. En general, la Fumonisinias sufre escaso metabolismo a nivel ruminal (Celis et al., 2020, pág.14).

En la figura 2-5 se puede identificar la estructura química de este tipo de micotoxina, de la misma manera Elike, (2023, pág.1) menciona que, En el maíz, las Fumonisinias pueden llegar a alcanzar concentraciones muy elevadas (en partes por millón), superiores incluso a los 300 mg/kg.

Además, en el maíz, las Fumonisinias suelen estar presentes junto a otras micotoxinas, generalmente con tricotecenos, como el deoxinivalenol, presencia que se relaciona a los factores climáticos previos a la cosecha, como la actividad de agua y la temperatura.

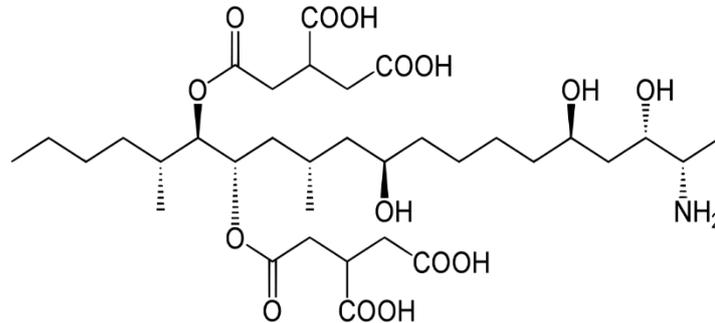


Ilustración 2-5: Estructura química
Fuente: Elika, 2023, pág.1

En Europa existe un numero legal de permisión en alimentos destinados para la alimentación animal de este tipo de micotoxinas en la tabla 2-4 podemos identificar el producto y el límite permisible en ppm.

Tabla 2-4: Límite legal de permisión en productos para alimentación animal

Producto	Límite (ppm)
Materias primas para piensos	
Maíz y productos a base de maíz	60
Piensos complementarios y complementos para	
Cerdo, caballos, conejos y animales de compañía	5
Peces	10
Aves de corral, terneros, corderos y cabritos	20
Rumiantes mayores de 4 meses y visones	50

Fuente: Elika, 2013, pág. 1.

2.2.2.3 Ocratoxina

Son un grupo de metabolitos secundarios tóxicos producidos principalmente por hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicilium*, contaminantes habituales de cereales, tales como maíz, cebada, trigo y avena, aunque también ha sido detectada en granos de café y alimentos de origen animal. Se pueden identificar cinco tipos de Ocratoxina: A, B, C, α y β , siendo la más tóxica la Ocratoxina A (Serrano y Cardona, 2015, pág.145; Santillán et al., 2017. pág.7). en la ilustración 2-6 se logra identificar la estructura química de esta micotoxina.

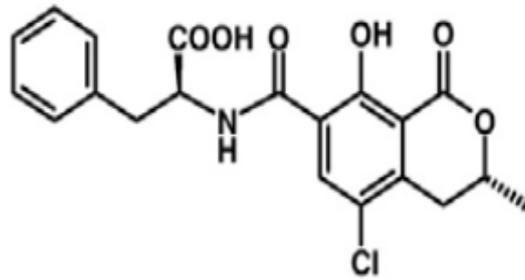


Ilustración 2-6: Estructura química de la Ocratoxina

Fuente: Santillán et al., 2017. pág.7

2.2.2.4 Zearalenona

Es una micotoxina de carácter estrogénico de amplia distribución presente sobre todo en el maíz (maíces viejos) y en menores proporciones en los restantes cereales. Los hongos implicados pertenecen al género *Fusarium* de las especies *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sporotrichioides* (Castañeda et al., 2012, pág. 53). Las formas modificadas identificadas y caracterizadas de ZEA son los metabolitos reductores α y β -zearalenol (ZEL), zearalenona (ZEN) y α - y β -zearalanol (ZAL) y sus glucósidos (Glc), sulfatos (sulfuro) y glucurónicos como se puede observar en la ilustración 2-5 (Elika, 2023, pág.1). Esta se forma generalmente en la postcosecha, y le favorecen temperaturas inferiores a 28 °C y superiores de 15 °C, temperaturas medias frecuentes en las áreas de cultivo y en el almacenamiento de cereales (Ramírez, 2019, pág.41). Su estructura química la podemos observar en la ilustración 2-7.

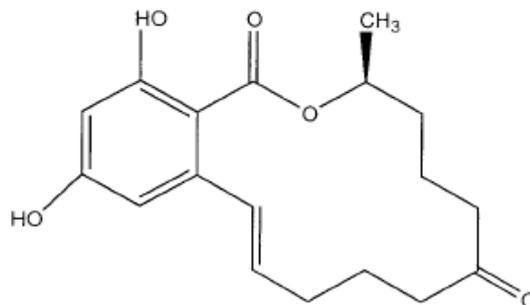


Ilustración 2-7: Estructura química de las zearalenonas

Fuente: Elika, 2023, pág.1

2.2.3 Factores que favorecen la producción de micotoxinas

De acuerdo con lo mencionado por Castañeda et al., (2012, pág. 54) entre estos factores podemos identificar:

humedad la cual es la principal responsable del desarrollo de hongos, esta no debe ser superior al 13%-14%.

Se refiere a la cantidad de humedad de la que disponen los microorganismos una vez alcanzados el equilibrio entre la humedad del producto y el vapor de agua existente en el medio ambiente que lo rodea (Uguña, 2013, pág.19). Los hongos especialmente del género *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* son capaces de sintetizar micotoxinas siendo las condiciones óptimas de producción 80 - 90% de Humedad relativa (Malla y Saula, 2015, pág. 24).

Temperatura: La gran mayoría de los hongos no crecen por debajo de 5 °C, ni tampoco por encima de 45 °C, siendo la temperatura óptima de crecimiento y producción de micotoxinas los 25-35 °C.

Los hongos especialmente del género *Aspergillus*, *Penicilium* y *Fusarium* son capaces de sintetizar micotoxinas e incluso dentro de una misma especie de hongo solo ciertas cepas tienen esta capacidad, el hongo se desarrolla a rangos de temperatura entre 40°C y 45°C, mientras que la toxina puede ser producida desde 11°C hasta 35°C (Uguña, 2013, pág.19). Las aflatoxinas se producen a una temperatura óptima de 25°C. El nivel más alto de aflatoxinas producidas por *A. Flavus* en caldo de cultivo se ha observado a 25-30°C tras dos semanas de incubación (Gimeno, 2013) citado en (Malla y Saula, 2015, pág. 24)

Aireación: Es sabido que las corrientes de aire que se establecen entre los espacios intergranulares ayudan a mantener niveles correctos de temperatura y humedad, evitando el recalentamiento del sustrato.

Insectos: Atacan a los cereales, dañan el pericarpio liberando almidón, grasas y otros nutrientes de los granos y semillas, que sirven de alimento a los hongos.

Tiempo de almacenamiento: Con el envejecimiento de las materias primas y de los piensos se incrementa la contaminación, el crecimiento de los hongos y bacterias, y la producción de micotoxinas.

pH: Si bien prefieren un pH más bien ácido, son muy sensibles a algunos ácidos orgánicos, como el ácido propiónico, por lo que se utiliza como antifúngico.

2.2.4 Métodos de análisis de micotoxinas

La mayoría de los métodos actuales para la detección y cuantificación de micotoxinas incluyen técnicas cromatográficas como Cromatografía en Capa Delgada (TLC), Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) y Cromatografía Gaseosa (GC) en la tabla 2-5 se puede identificar el fundamento de estas metodologías. También se menciona al método de ELISA e IAC mismo que fueron desarrollados para ser utilizados en sitios de almacenamiento de granos. La TLC fue una de las primeras técnicas desarrolladas para la detección, cuantificación y semi-cuantificación de micotoxinas, además gran parte de las metodologías aplicadas incluyen la cuantificación HPLC tanto en fase normal como en fase reserva. Sin embargo, se reflejan otros métodos de detección como lo son los detectores UV, de fluorescencia y de espectrometría de masa (López et al., 2020, pág. 12)

Tabla 2-5: Métodos de detección de micotoxinas

MÉTODO	FUNDAMENTO
Cromatografía De Capa Fina	Es una técnica analítica rápida y sencilla que consiste en la separación de los componentes de una muestra debido a su migración diferencial a través de una capa delgada de adsorbente, generalmente sostenido por una superficie plana inerte (Vallejo et al.,2021, pág.19).
Cromatografía Líquida de Alta Resolución	Permite la separación de compuestos de una mezcla mediante las interacciones específicas con la fase estacionaria permitiendo el paso, identificación y análisis de los compontes de las sustancias en estudio (Figura 1). Este tipo de cromatografía es indicada para el análisis de compuestos poco volátiles, iónicos y termolábiles (Ruiz, 2020, pág.3)
Cromatografía Gaseosa	Técnica analítica común que se utiliza para separar y analizar compuestos volátiles y semivolátiles de una mezcla. La GC es una técnica analítica popular al combinar un potencial de resolución excepcional con la velocidad y la sensibilidad (Orozco, 2023, p1).
ELISA	Es un método utilizado para detectar cuantitativamente un antígeno en una muestra (Molecular devices, 2023, pág.1)

Realizado por: Medina J., 2023

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Localización y duración del experimento

El trabajo experimental se desarrolló en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias Pecuarias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo en los laboratorios de; Bromatología (Humedad y materia seca) de la Facultad De Ciencias Pecuarias, mientras que los análisis de proteína se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo y los microbiológicos se realizaron en los laboratorios “LIVEXLAB” y “LASA”. La investigación tendrá un tiempo de duración de 75 días.

3.2 Unidades experimentales

Para efectuar el estudio, cada unidad experimental se encontró constituida por 200g de maíz, dándonos un total de 12 muestras que corresponden a 3 tratamientos experimentales y cada uno con 4 repeticiones.

3.3 Materiales, equipos e insumos

3.3.1 *Materiales*

- Guantes
- Mandil
- Mascarilla
- Bureta
- Vasos de precipitación
- Erlenmeyer

3.3.2 Equipos

- Balanza analítica
- Estufa eléctrica
- Molino
- Aparato de Kjeldahl
- Higrómetro

3.3.3 Insumos

- Ácido sulfúrico
- Hidróxido de sodio
- Ácido bórico
- Pastilla de Kjeldahl
- Agua Destilada
- Indicador Tashiro
- Ácido Clorhídrico al 0.1 de Normalidad
- Kit Elisa

3.3.4 Materia prima

- Maíz

3.4 Tratamiento y diseño del experimento

3.4.1 Tratamientos

En la investigación se evaluaron tres tratamientos en los cuales se plantean diferentes condiciones de almacenamiento tomando tres porcentajes de Humedad relativa y tres temperaturas diferentes. Tomando un tamaño de la unidad experimenta de 200g como se puede ver en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Esquema del experimento

TRATAMIENTO (Humedad y Temperatura)	Código	N° Repeticiones	T.U.E.*	g/Trat.
Humedad de 75% con una Temperatura de 15°C	T1	4	200g	1000
Humedad de 80% con una Temperatura de 25°C	T2	4	200g	1000
Humedad de 85% con una Temperatura de 35°C	T3	4	200g	1000
Total, g				3000

T.U.E*: Tamaño de la unidad experimental (200g) de maíz duro amarillo (*Zea mays*).

Realizado por: Medina J., 2023

3.4.2 *Diseño experimental*

Las unidades experimentales serán distribuidas bajo un diseño completamente al azar (DCA) y que para su análisis se ajustarán al siguiente modelo lineal aditivo. (Ver tabla 3-2)

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = es la observación del tratamiento i repetición j .

μ = es la media general del ensayo.

T_i = efecto de las condiciones de almacenamiento de los granos de maíz

E_{ij} = es el error experimental (factores no controlados).

3.5 Mediciones experimentales

3.5.1 *Análisis Microbiológico*

Para el análisis microbiológico se toma como referencia los requisitos establecidos por la norma NTE INEN 187

- Micotoxinas

3.5.2 *Análisis Físico Químico*

Para el análisis físico- químico se toma como referencia los requisitos establecidos por la norma NTE INEN 187

- Humedad %
- Materia Seca %
- Proteína %

3.6 **Análisis estadísticos y pruebas de significancia**

Los resultados experimentales serán sometidos a las siguientes pruebas estadísticas:

- Estadística descriptiva
- Análisis de varianza (ADEVA)
- Prueba de Tukey $P < 0,05$

El esquema del análisis de varianza aplicado en este trabajo de tipo experimental se puede ver en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Esquema del ADEVA

Fuente de variación	Grados de Libertad
Total	(n-1) 11
Tratamientos	(t-1) 2
Error	(n-1) -(t-1) 9

Realizado por: Medina J., 2023

3.7 **Procedimiento experimental**

3.7.1 *Ambientación de las muestras*

Se realizó una ambientación de las muestras para lo cual se aplicó lo descrito por la tabla 3-3 donde se especifica la cantidad en peso por cada tratamiento, la Humedad relativa del ambiente, la temperatura a la que fueron sometidas las muestras, el peso y la humedad inicial de los granos.

Tabla 3-3: Parámetros utilizados en cada tratamiento

	TRATAMIENTOS		
	T1	T2	T3
Humedad relativa	75%	80%	85%
Temperatura	15°C	25°C	35°C
Peso	15lb	15lb	3lb
Humedad inicial	12%	12%	12%

Realizado por: Medina J., 2023

3.8 Metodología de evaluación

3.8.1 Análisis microbiológicos

3.8.1.1 Micotoxinas

La determinación de micotoxinas que afectan al Maíz se llevó a cabo mediante el método ELISA, por lo que el análisis de aflatoxinas se determinó mediante el método de ensayo AOAC 050901 MICROELISA Y fumonisinas AOAC 2001.06 CD-Elisa. Mientras que para el análisis de zearalenonas y ocratoxinas se aplicó el método de ensayo PEE.LASA.MB.50 MICROELISA y PEE.LASA.MB.37 MICROELISA respectivamente. El análisis de micotoxinas se define como un conjugado (micotoxina marcados con enzima, generalmente la peroxidasa, también la fosfatasa alcalina y β – galactosidasa), la cual compete con la micotoxina presente en la muestra en estudio por los mismos sitios de enlace presentes en el anticuerpo inmovilizado en la superficie sólida (Guerrero y Parreño, 2018, pág.32).

3.8.2 Análisis físicoquímicos

3.8.2.1 Humedad

La humedad fue determinada mediante la diferencia de peso (Humedad%= 100-sólidos totales) en la termobalanza donde las muestras fueron sometidas a (60 °C) logrando de esta manera eliminar la materia volátil (INEN 1513, 1987, pág.3).

3.8.2.2 *Materia seca*

El porcentaje de materia seca se determinó en la termobalanza por diferencia de peso ($MS = (\text{peso inicial} - \text{peso seco}) / \text{peso inicial}$), la muestra fue sometida a una temperatura de 70°C (INEN 382, 2013, p2).

3.8.2.3 *Proteína*

Los análisis de proteína se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo. Aplicando la metodología Kjeldahl mediante el contenido de nitrógeno total obtenido, y se multiplica el resultado por el factor 5,83 para obtener el resultado como % de proteína (INEN 543, 1980, pág.1).

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados de los análisis microbiológicos

Los resultados microbiológicos fueron analizados mediante Infostat, donde se realizó una comparación entre medias de las micotoxinas: Aflatoxinas y Fumonisinias, mientras que para las Zearalenona y Ocratoxinas se realizó un análisis descriptivo como se puede observar en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Resultados microbiológicos de las muestras de maíz

Micotoxinas	Muestras de maíz en diferentes condiciones			E.E.	P-Valor	Método de ensayo
	de humedad y temperatura					
	75%-15°C	80%-25°C	85%-35°C			
Aflatoxinas (ppb)	2,25 c	5,58 b	7,53 a	0,14	0,0001	AOAC 050901 MICROELISA
Fumonisinias (ppm)	0,80 c	3,80 b	5,88 a	0,19	0,0001	AOAC 2001.06 CD-Elisa
Zearalenona (ppb)	<5	<5	<5	-	-	PEE.LASA.MB.50 MICROELISA
Ocratoxinas (ppb)	<2	<2	<2	-	-	PEE.LASA.MB.37 MICROELISA

E.E: Error estándar

PROB. > 0,05: No hay diferencias significativas

PROB. < 0,05: Hay diferencias significativas

PROB. < 0,01: Hay diferencias altamente significativas

Realizado por: Medina J., 2023

En la ilustración 4-1 se puede identificar los valores de concentración de las micotoxinas analizadas: Aflatoxinas, Fumonisinias, Zearalenonas y Ocratoxinas, dejando al tratamiento 85% humedad relativa y 35°C temperatura, como el que mayores concentraciones presentó y al tratamiento 75% humedad relativa y 15°C temperatura el de menor concentraciones.

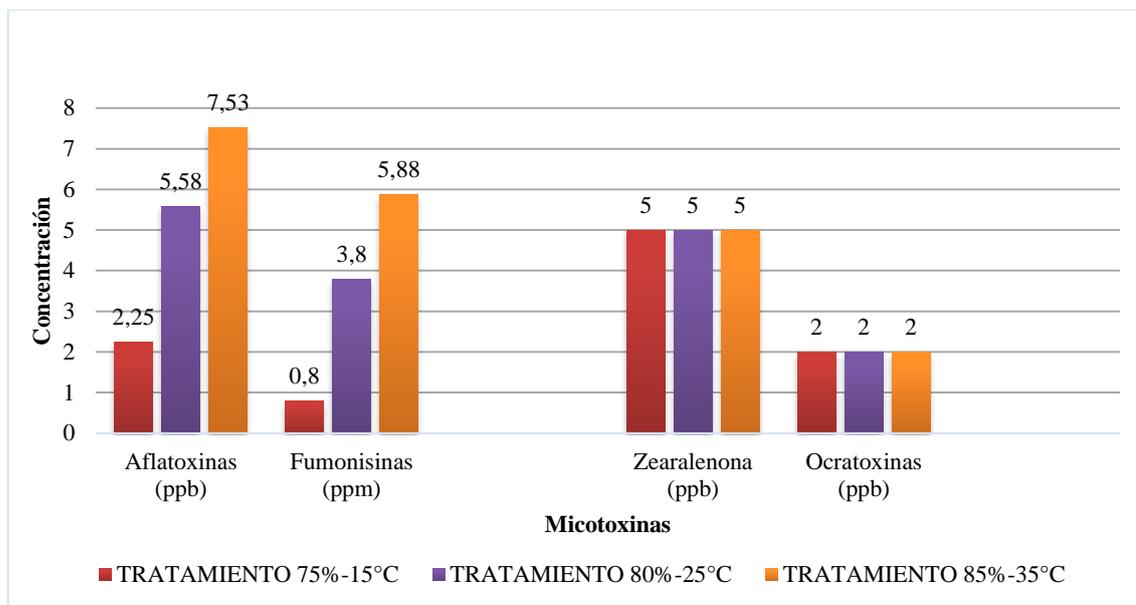


Ilustración 4-1: Concentración de micotoxinas de muestras de maíz en diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura

Realizado por: Medina J., 2023

4.1.1 Aflatoxinas

El análisis de aflatoxinas muestra diferencias altamente significativas por efecto de las condiciones de almacenamiento de las muestras, identificándose que existe mayor cantidad de unidades de partes por billón en el tratamiento 85% humedad relativa y 35 °C temperatura, donde se reporta un valor de 7,53 partes por billón mientras que al aplicar 75% de Humedad relativa y 15°C temperatura, el valor disminuye a 2,25 partes por billón. Según (Pasante y Núñez, 2011, pág.31-34) la contaminación de Aflatoxina sucede por malas condiciones de almacenamiento o cuando la cantidad de agua es relativamente alta, estas condiciones incrementan los microgramos que son productores de aflatoxinas, con temperaturas por encima de los 25°C y una Humedad relativa superior a 80%. Erika (2013, pág. 1) establece condiciones óptimas de crecimiento para *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus* (hongo productor de aflatoxinas).

Los resultados obtenidos guardan relación con lo establecido por la normativa NTE INEN 2051 (1995, pág.2) la cual plantea un límite permisible de aflatoxinas para el consumo humano de 20 partes por billón, de igual manera la Unión Europea establece un límite de 5 a 10 partes por billón (Reglamento (CE) N° 1881, 2006. pág.15), identificando que las concentraciones de aflatoxinas para cada uno de los tratamientos cumplen con lo estipulado por la normativa.

4.1.2 Fumonisin

La presencia de fumonisin indica diferencias altamente significativas por efecto de las condiciones de almacenamiento de las muestras, dejando al tratamiento con condiciones de almacenamiento de 85% humedad relativa y una temperatura de 35°C, como el que mayor concentración presentó, siendo este de 5,88 partes por millón y 0,80 partes por millón la menor concentración correspondiente al tratamiento con condiciones climáticas de 75% humedad relativa y 15°C temperatura. Esto se da por factores climáticos como la temperatura y humedad relativa en pre y/o post cosecha (Paterson & Lima, 2010; citado en Malvina et al., 2010, pág. 278) demostrando una temperatura óptima de crecimiento de 15°C a 30°C para el crecimiento de hongos *F. moniliforme* y el *F. proliferatum* principales productores de esta micotoxina.

Los resultados conseguidos guardan relación con el Reglamento (CE) N° 1881, 2006. pág.18) de la Unión Europea, la cual establece que el límite permisible de Fumonisin es de 2 partes por millón, mientras que el Codex Alimentarius reporta un nivel máximo de 4 partes por millón para el maíz en grano crudo y 2 partes por millón para harina de maíz y sémola de maíz (CXS 193.1995, pág. 42). De acuerdo con esto, los tratamientos que reportan concentraciones de 0,8 partes por millón y 3,80 partes por millón como se observa en la tabla 4-1 cumplen con lo permitido según el reglamento. Mientras que el tercer tratamiento que presentó 5,88 partes por millón se encuentra por encima de los valores permitidos. Según (Bonilla, 2020 pág. 44) al realizar una evaluación de fumonisin producidas por *Fusarium spp.* en maíz duro al norte de Argentina en diferentes años, manifiesta que a mayores temperaturas y una alta humedad relativa son condiciones para una tendencia hacia mayores niveles de fumonisin alcanzando valores de 5,71 partes por millón sobre lo permitido legalmente.

4.1.3 Zearalenona

El análisis de zearalenona muestra una concentración de <5 partes por billón para todos los tratamientos analizados. Según Erika, (2013, págs. 1-4) plantea una temperatura óptima de crecimiento de 25°C y una humedad relativa de 88% para la producción de los hongos *F. culmorum*, *F. graminearum* y *F. crookwellense* principales productores de Zearalenona destacando que su contaminación se da en postcosecha.

Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango según lo establecido por el Codex Alimentarius el cual nos dice que la concentración permitida es de 200 partes por billón (CXS 193.1995, pág. 13), mientras que para la Unión Europea en el Reglamento (CE N° 1881, 2006. pág.17) establece que el límite permisible es de 100 partes por billón. Por lo que al comparar los resultados

se puede identificar que los niveles de contaminación de zearalenona son bajos, de esta manera determinando que las condiciones de almacenamiento planteadas para cada uno de los tratamientos no influyen en la propagación de esta micotoxina.

4.1.4 Ocratoxinas

La determinación de ocratoxinas reporta una concentración de < 2 partes por billón para todos los tratamientos analizados. La contaminación de esta micotoxina sucede desde el campo hasta el almacenamiento, sin embargo, se considera principalmente un problema de almacenamiento. Los granos susceptibles a contaminación son aquellos almacenados con una alta humedad (>14%) a temperaturas cálidas (>20°C) y/o secados de forma inadecuada (U.S. GRAINS, 2022, págs. 1-88).

Al observar los resultados planteados en la tabla 4-1 se identifican concentraciones por debajo del límite máximo permisible según lo establecido por El (Reglamento (CE) N° 1881, 2006. pág.16) el cual nos dice que el límite permisible para esta micotoxina es de 5,0 partes por billón.

De esta manera se está cumpliendo con la normativa planteada.

4.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos

En la investigación se evaluaron muestras de maíz sometidas a diferentes porcentajes de humedad y temperatura. Los resultados se observan en la tabla 4-2, donde se reflejan los porcentajes de humedad, materia seca y proteína de las muestras analizadas.

Tabla 4-2: Resultados de los análisis fisicoquímicos

Variables	Muestras de maíz en diferentes condiciones de humedad y temperatura			E.E.	P-Valor	Método de ensayo
	75%-15°C	80%-25°C	85%-35°C			
%Humedad	7,46 ± 0,34 c	10,64 ± 0,09 b	12,52 ± 0, 32 a	0,14	0,0001	NTE INEN 1513
%Materia seca	92,54±0,33 a	89,36±0,09 b	87,48 ± 0,32 c	0,14	0,0001	NTE INEN 382
% Proteína	9,97 ± 0, 18a	8,17± 0,02 b	6,94± 0,47 c	0,15	0,0001	NTE INEN 543

E.E: Error estándar

PROB. > 0,05: No hay diferencias significativas

PROB. < 0,05: Hay diferencias significativas

PROB. < 0,01: Hay diferencias altamente significativas

Realizado por: Medina J., 2023

4.2.1 Humedad

La humedad del maíz presenta diferencias altamente significativas por efecto de tratamientos, identificándose como el mayor valor reportado el de 12,52% correspondiente al tratamiento con 85% humedad relativa y 35°C, mientras que 7,46% representa el menor porcentaje de humedad siendo este del tratamiento con 75% humedad relativa y 15°C temperatura como se puede observar en la tabla 4-2. Los cambios de humedad claramente pueden deberse a las condiciones climáticas de almacenamiento del grano, ya que como lo mencionan Blanco et al., (2016, pág.106) y García et al., (2020, p. 99), la humedad y la temperatura son las dos principales variables que afectan la actividad de los granos. La humedad contenida en el grano es variable y se encuentra definida como grado de humedad, tal es el caso que el 86% del grano corresponde a la presencia de carbohidratos, azúcares, fibra y lípidos, mientras que el 14% restante corresponderá a agua (Socarrás, 2019, págs.5-6).

Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por la Norma INEN 187, donde se estipula que el máximo de humedad es del 13%, de igual forma Gutiérrez et al., (2009, pág.115) reporta valores del 13% de humedad en granos de Maíz amarillo, identificando que el porcentaje de humedad en los tres tratamientos cumple con la normativa.

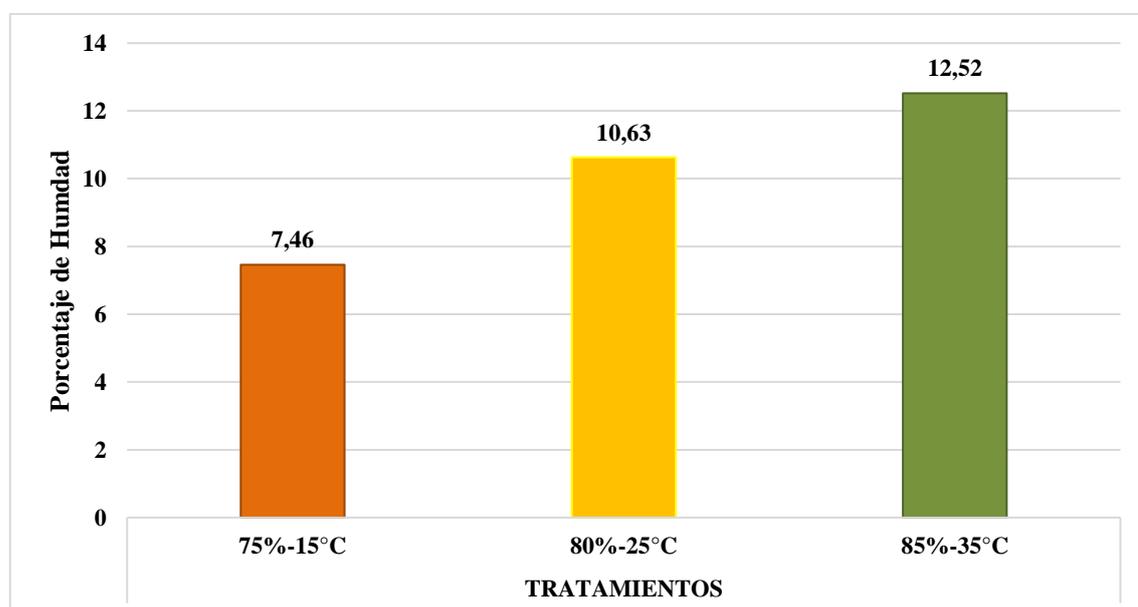


Ilustración 4-2: Porcentajes de humedad de muestras de maíz en diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura

Realizado por: Medina J., 2023

4.2.2 *Materia seca*

El porcentaje de materia seca presenta diferencias estadísticamente significativas por efecto de los tratamientos aplicados, determinando al tratamiento con 75% humedad relativa y 15°C temperatura como el mayor porcentaje de materia seca, siendo este de 92,55% mientras que el tratamiento en el que se aplicó el 85% humedad relativa y 35°C temperatura presentó 87,48% de materia seca, de esta manera se logra determinar que a mayor porcentaje de humedad relativa y temperatura en grados centígrados menor será el porcentaje de materia seca como se puede observar en la tabla 4-2.

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por (Solá, 2019, pág.1) quien obtuvo valores desde 86,2 hasta 92,6% al realizar un estudio comparativo de los valores nutricionales del maíz de diferentes orígenes como los de: FEDNA (española), CVB (holandesas), INRA (francesa), NRC (EEUU) Y Brasil, así también Martínez et al., (2016, pág. 169) indica valores de materia seca entre 81,1% y 93% en un estudio realizado para determinar la composición química de los granos de maíz obtenido de cuatro parcelas rurales del municipio de Quibdó, Colombia.

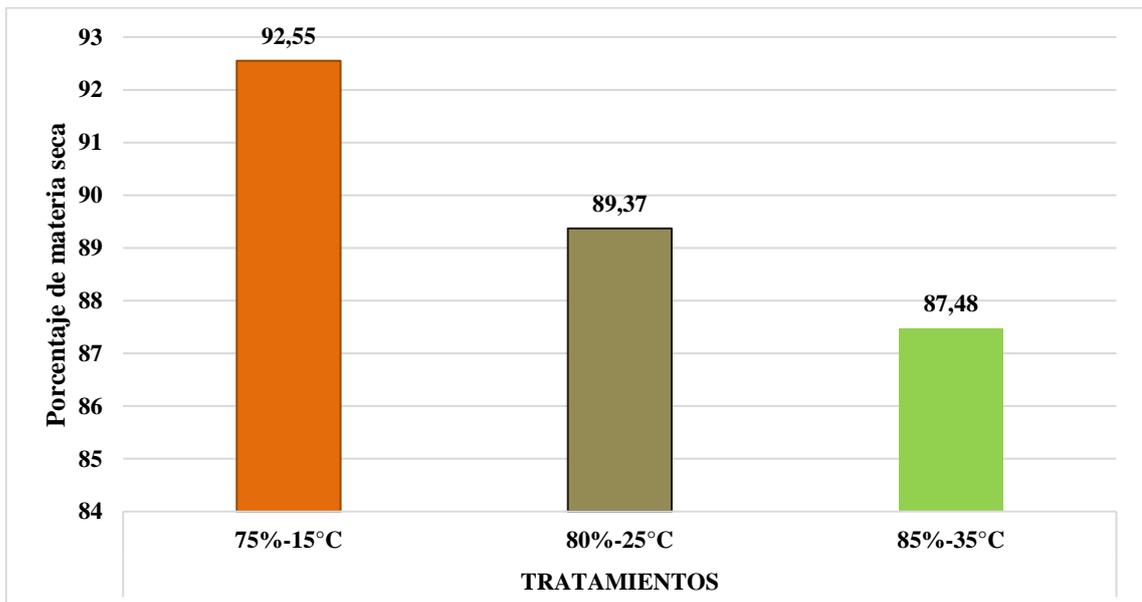


Ilustración 4-3: Porcentajes de materia seca en muestras de maíz en diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura

Realizado por: Medina J., 2023

4.2.3 Proteína

La proteína presentó diferencias altamente significativas por efecto de los tratamientos, identificándose al tratamiento con 75% humedad relativa y 15°C temperatura, como aquel que mayor valor reportó de 9,97% mientras que para el tratamiento donde la humedad relativa fue de 85% y la temperatura de 35°C, su valor disminuyó a 6,94% (ver tabla 4-2). Mostrando que existen una disminución proteica al incrementar la humedad relativa y la temperatura, lo que se puede justificar con lo mencionado por Urango (2018, pág.193), quien establece que la calidad nutricional, la integridad y el rendimiento de los granos de maíz están influenciados por muchos factores, incluyendo la genética, el medio ambiente (humedad, la temperatura y el riego) y el procesamiento del grano, por otra parte Gutiérrez, (2023, pág.5) menciona que se han detectado pérdidas de nutrientes en el maíz sometido a diferentes condiciones de almacenamiento, en especial la pérdida de caroteno al someterlo a diferentes temperaturas, así también la pérdida de la solubilidad de las proteínas.

Al comparar estos resultados se demuestra que las condiciones climáticas de 75% humedad relativa y 15°C temperatura, también 80% humedad relativa y 25°C temperatura, están en el rango establecido por la (NTE INEN 187, 2013, pág.3), quien dentro de sus lineamientos de calidad para el grano de maíz, reporta un valor mínimo de 8% de proteína, de igual forma Urango (2018, pág.193) reporta un valor proteico de 8,8%, de la misma manera Poey et al. 1979 citado en FAO (2023, pág.1) establece que las proteínas en el grano de maíz se encuentran entre un 8% y 11%. Por otra parte, en la ficha técnica del maíz se reporta un valor de 10,2% de proteína bruta (INIAP 176, 2012, pág.2). Identificando que los dos primeros tratamientos cumplen con los requisitos de un grano destinado para consumo humano, alimento zootécnico y uso industrial como lo establece la norma (NTE INEN 187, 2013, pág.1). Mientras que el tratamiento 3 de 85% humedad relativa y 35°C temperatura se encuentra por debajo de los requisitos debido al impacto causado por la alta humedad y temperatura del ambiente afectando la calidad del producto como lo menciona Urango (2018, pág.193) anteriormente.

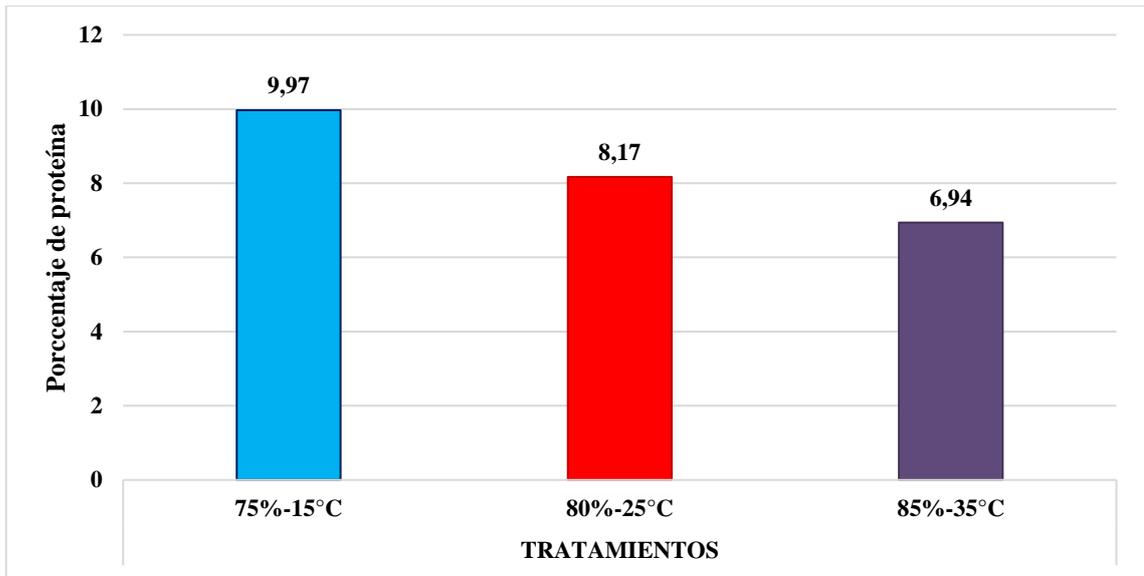


Ilustración 4-4: Porcentajes de proteína de muestras de maíz en diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura

Realizado por: Medina J., 2023

CONCLUSIONES

Se evaluó la presencia de micotoxinas en el maíz duro amarillo (*Zea mays*) en diferentes condiciones de Humedad relativa (75%, 80%,85%) y temperatura (15°C, 25°C, 35°C), identificándose la presencia de Aflatoxinas (2,25 partes por billón, 5,58 partes por billón y 7,53 partes por billón), Fumonisin (0,8 partes por millón, 3,8 partes por millón y 5,88 partes por millón), Zearalenona (<5 en todos los tratamientos) y Ocratoxina (<2 en todos los tratamientos) respectivamente, identificándose que existe mayor concentración de micotoxinas a mayor Humedad relativa y temperaturas de almacenamiento.

Los porcentajes de humedad, materia seca y proteína muestran diferencias altamente significativas por efecto de los tratamientos, determinando al tratamiento con condiciones de humedad de 75% y temperatura 15°C como aquel que presentó menor porcentaje de humedad $7,46 \pm 0,34$ y mayor porcentaje de materia seca con un $92,55 \pm 0,34$ y proteína $9,97 \pm 0,18$, mientras que el tratamiento con condiciones de 85% humedad y 35°C temperatura, presenta el mayor porcentaje de humedad $12,52 \pm 0,33$ y menor porcentaje de materia seca $87,48 \pm 0,33$ y proteína $6,94 \pm 0,47$, dejando como mejor opción proteica a las muestras del tratamiento con 75% de Humedad relativa y 15°C temperatura.

La condición óptima de almacenamiento para evitar pérdidas de proteína y contaminación por micotoxinas en el maíz sería el de 75% Humedad relativa y 15°C temperatura, ya que refleja los mejores resultados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar análisis de micotoxinas en muestras de productos elaborados a base de maíz.

Realizar estudios bromatológicos aplicando diferentes condiciones de almacenamiento (tiempo, temperaturas y Humedad relativa) diferentes a este trabajo.

Socializar a la población en general la importancia de las condiciones de almacenamiento del maíz para evitar la propagación de micotoxinas y a su vez evitar pérdidas a los agricultores y comerciantes.

Se debe revisar las empresas alimentarias, asegurar que sus HAPPCC estén previstos de este tipo de micotoxinas y garantizar que los productos no se comercialicen ni superen los niveles establecidos en la legislación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AFHSE.** *Recomendaciones Para La Prevención, El Control Y La Vigilancia De Las Micotoxinas En Las Fábricas De Harinas Y Sémolas.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 2015 [Consulta:15 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/textomicotoxinas18122015_completorev_nipo_tcm30-57870.pdf
2. **BACA GUERRERO, Luis Alberto.** La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria. [En línea] (Trabajo de titulación). Pontificia Universidad Católica Del Ecuador. Quito, Ecuador. 2016. Pág.50 [Consulta:15 de junio de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12652/La%20produccion%20de%20ma%C3%ADz%20amarillo%20en%20el%20Ecuador%20y%20su%20relacion%20con%20la%20soberania%20alimentaria%20-%20Luis%20Al.pdf?sequence=1>
3. **BLANCO VALDES, Yaisys; DURAÑONA, Hauary & ACOSTA ROCA, Rosa.** “Efecto de la temperatura y la humedad en la conservación de granos de maíz en silos metálicos refrigerados”. *INCA- Cultivos Tropicales* [en línea]. 2016 (Cuba) 37(4), págs. 105-114. [Consulta: 27 de agosto]. ISSN 1819-4087. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v37n4/ctr10416.pdf>
4. **BOGANTES-LEDEZMA, Pilar; BOGANTES-LEDEZMA, Diego & BOGANTES-LEDEZMA, Sixto.** “Aflatoxinas”. *Acta medica costarricense* [en línea], 2004. (San José) 46(4), págs.174-178. [consultado el 8 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022004000400004
5. **BONILLA, ING. AGR. JORGE RUBÉN. 2020.** “Evaluación de fumonisinas producidas por *Fusarium spp.* y su control mediante fungicidas en maíz duro en el norte de Argentina”. Argentina : Universidad Nacional del Norte, 2020. pág. 44.

6. **CASTAÑEDA SÁNCHEZ, Rafael; CHIRIVELLA MARTORELL, Jerónimo & CARBONELL BALDOVÍ, Enrique.** “*Micotoxicosis derivadas de la nutrición animal. Revisión del tema*”. NEREIS [en línea], 2012. (Valencia) 1(4), págs..51-61. [Consulta: 17 de junio de 2023]. ISSN 1888-8550. Disponible en: <https://riucv.ucv.es/bitstream/handle/20.500.12466/288/5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. **CELIS VIELMAN, Edgar Alan; AGUILAR CARRERA, Alan Douglas; SALAR, Rufino Julio; CABRERA OVALLE, Liuba María & JÁUREGUI JIMÉNEZ, Raúl.** Determinación del metabolito tóxico aflatoxina M1 en la leche fluida en fincas tradicionales de producción láctea bovina en el departamento de Chiquimula. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2020. págs. 11-38. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/prunian/INF-2019-08.pdf>
8. **CNF.** *Cultivo de maíz*. [En línea] (Ficha sectorial). Corporación Financiera Nacional B.P. Quito. 2021. págs.5-23 [Consulta:15 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-2-trimestre/Ficha-Sectorial-Maiz.pdf>
9. **CODEX ALIMENTARIUS 193:** 1995. *Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos*
10. **DE LA TORRE, Diego; CARDOSO, Marcelo; DEPETRIS, Gustavo & BARTOSIK, Ricardo.** “*Almacenamiento de maíz en silo bolsa para alimentación animal*”. INTA [en línea]. 2016. (Argentina), págs.1-4. [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_granos/43-maiz.pdf
11. **DUQUE OSORO, Catalina.** Estandarización y evaluación de un método para la determinación de micotoxinas por medio de la técnica fotométrica (kit Elisa) a materias primas de avicultura en la industria de alimentos para animales CIPA S.A. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnología,

Escuela de Tecnología química. Pereira, Colombia. 2015. págs. 1-170 [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398385.pdf>

12. **ELIKA.** “*Aflatoxinas*”. *Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria* [en línea], 2013. [Consulta: 08 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/wp-content/uploads/2018/01/19.Aflatoxinas.pdf>
13. **ELIKA.** “*Fumonisinias*”. *Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria* [en línea], 2013.págs. 1-5. [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: <https://alimentacion-animal.elika.eus/wp-content/uploads/sites/6/2017/12/FUMONISINAS-2012-maquetado.pdf>
14. **ELIKA.** “*Fumonisinias*”. *Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria* [en línea], 2018. [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/fumonisinina/>
15. **ELIKA.** “*Informe RASFF*”. *Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria* [en línea], 2017. [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: https://alimentos.elika.eus/wp-content/uploads/sites/2/2018/02/2017_resumen-anual_rasff-alimentos.pdf
16. **ELIKA.** “*Toxinas T-2 y HT-2*”. *Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria* [en línea], 2013. [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: <https://alimentacion-animal.elika.eus/wp-content/uploads/sites/6/2017/12/T2-y-HT2-2013-cast.pdf>
17. **ELIKA.** “*Las micotoxinas en alimentos*”. *Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria* [en línea], 2018. [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/wp-content/uploads/2018/05/Articulo-micotoxinas-alimentos-2018.pdf>
18. **ELIKA.** “*Zearalenona*”. *Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria* [en línea], 2013. [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/zearalenona/>

19. **ESPAC.** *Encuesta de superficie y producción Agropecuaria continua.* [En línea]. 2023. págs.1-55 [Consulta:15 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf
20. **FAO.** *Capítulo 2 Composición química y valor nutritivo del maíz* [blog]. Food and Agriculture Organización, 2023. [Consulta: 30 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S03.htm#:~:text=En%20las%20variedades%20comunes%2C%20el,se%20encuentran%20en%20el%20endospermo.>
21. **GARCÍA CAMPOS, Alan; CRUZ MONTERROSA, Rosy; RAYAS AMOR, Adolfo; JIMÉNEZ GUZMÁN, Judith; FABELA MORÓN, Miriam; SALGADO CRUZ, María; CORTÉS SÁNCHEZ, Alejandro; VILLANUEVA CARVAJAL, A. & DÍAZ RAMÍREZ, Mayra.** “*Caracterización fisicoquímica de maíz (Zea mays L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México*”. *Agro Productividad* [en línea]. 2020. (México), 13(7), págs. 95-100. [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/337396899.pdf>
22. **GELDEREN, Carlos; CHUIZE, Sofía & BARTOSIK, Ricardo.** “*Proyecto de micotoxinas en maíz: estrategias para minimizar el problema en la cadena alimentaria*” [en línea]. RSA- CONICET, 2018. [Consulta: 20 de junio de 2023]. Disponible en: <https://rsa.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/2020/06/Micotoxinas-en-ma--z-corto-AC.pdf>
23. **GUARDIA, Mélida Martínez; PALACIOS, Idalides Palacios; ARROYO, Henry Hernán Medina.** “*Composición química del grano de maíz (Zea mays) Chococito del municipio de Quibdó, Chocó, Colombia*”. *RIAA* [en línea], 2016 (Colombia), 1 (7), págs. 192- 201. [Consulta: 17 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/21456453.1619>
24. **GUERRERO, Agustín y PARREÑO, Juan.** “*Determinación De Mico toxinas Por El Método De Elisa En Soya Para Aves En Producción En La Provincia De Chíncha, Año 2016*”. *Rev Soc Quím.* [en línea], 2018. (Perú) 84(1), págs 27-40. [Consulta: 17 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v84n1/a04v84n1.pdf>

25. **GUTIÉRREZ CORONADO, M.; CORONADO AMAYA, F.; VÁZQUEZ ORTIZ, Y.; LÓPEZ FRANCO, A. & ORTEGA CORO, A.** “*Caracterización física y química de maíz de calidad proteínica mejorada*”. *CyTA- Journal of food* [en línea], 2009. (México) 7(2), págs. 111-118. [Consulta: 27 de agosto de 2023]. ISSN 1947-6337. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/19476330902940416?needAccess=true&role=button>
26. **GUTIÉRREZ ELÍAS, Víctor Hugo.** Evaluación del efecto de dos insecticidas sobre el control de Gorgojo del maíz (*Sitophilus Zea mays*) [En línea] (Trabajo de titulación). Instituto tecnológico de Tlajomulco, Jal. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 2023. pág.4. [Consulta: 02 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5771/1/TESIS%20VICTOR%20HUGO%20GUTIERREZ%20ELIAS.pdf>
27. **HERNÁNDEZ AUCAPIÑA, Andrea Estefanía & LÓPEZ CABRERA, Franklin Geovanny.** Evaluación de la contaminación de aflatoxinas en el maíz pelado cocido (mote pelado) y exposición dietaria caso estudio: Nabón – Ecuador. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2015. pág.49. [Consulta:21 de octubre de 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29632/1/TESIS.pdf>
28. **INEC.** *Boletín Técnico Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua* [blog]. Ecuador : Unidad de Estadísticas Agropecuarias, Mayo,2021. [Consulta:15 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf
29. **INIAP.** *Maíz Duro* [blog]. Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2014. [Consulta:15 de junio de 2023]. Disponible en: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizd>

30. **INIAP.** *Variedad para grano y forraje*. [blog]. Quito, Ecuador. 2016. Pág. 2 [Consulta: 15 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2409/1/iniapsc332.pdf>
31. **LÓPEZ SEAL, Tomás; VALDÉS, Joaquín & ÁLVAREZ, Marcelas.** *Estudio sobre la utilización y el control de calidad de materiales de referencia en micotoxinas* [en línea]. 2020 [Consulta: 17 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.unsam.edu.ar/institutos/incalin/repositorio/TIF%20Alimentos/TFI%20Lopez%20Seal.pdf>
32. **MARTÍNEZ MIRANDA, María Marcela; VARGAS DEL RÍO, Liliana María & GÓMEZ QUINTERO, Verónica María.** “*Aflatoxinas: incidencia, impactos en la salud, control y prevención*”. *Biosalud* [en línea], 2013. (Colombia) 12(2), págs. 89-109. [Consulta: 18 de junio de 2023]. ISSN 1657-9550. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biosa/v12n2/v12n2a08.pdf>
33. **MARTÍNEZ, Malvina; MOSCHINI, Ricardo; BARRERO, Dora; BODEGA, José; COMERIO, Ricardo; FORJAN, Horacio; PIATTI, Federico; PRESELLO, Daniel & VALENTINUZ, Oscar.** “*Factores ambientales que afectan el contenido fumonisina en granos de maíz*”. *Tropical Plant Pathology*. [en línea], 2010. (Brasil) 35(5), págs. 277-284. [Consulta: 09 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/tpp/a/qPWYLFvKxDDgHvLhjwh5Btw/?lang=es&format=pdf>
34. **MOLECULAR DEVICE.** *Ensayo de inmunoabsorción ligado a enzima (ELISA)* [blog]. San José, 2023. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: <https://es.moleculardevices.com/applications/enzyme-linked-immunosorbent-assay-elisa>
35. **MORA GALIANO, Jimmy.** *Estudio de mercado “Maíz Amarillo Duro” [En línea]. Superintendencia de Competencia Económica.* Ecuador, 2017. [Consulta: 15 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/Estudio-maiz-version-publica-201710.pdf>

36. **MYCOTINSITE.** *Micotoxinas en materias primas*[blog].2023. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: <https://mycotoxinsite.com/maiz/>
37. **NTE INEN 1513:**1987. *Granos y cereales. Maíz. Determinación del contenido de humedad.*
38. **NTE INEN 187:** 2013. *Cereales y Leguminosas. Maíz en grano. Requisitos.*
39. **NTE INEN 187:**2013. *Cereales y leguminosas. Maíz en grano*
40. **NTE INEN 2052:** 1995. *Granos y cereales. Maíz molido, sémola, harina, gritz. Requisitos.*
41. **NTE INEN 382:** 2013. *Conservar vegetales. Determinación de materia seca (sólidos totales).*
42. **NTE INEN 543:** 1980. *Alimentos para animales. Determinación de proteína cruda.*
43. **OMS.** *Micotoxinas.* [en línea]. Organización Mundial de la Salud, 2018. [Consulta: 20 de junio]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins#:~:text=Las%20micotoxinas%20son%20compuestos%20%C3%B3xicos,desecadas%2C%20frutos%20secos%20y%20especias.>
44. **OROZCO BELMONTE, Marta Isabel.** *Cromatografía de gasees* [blog]. Laboratorio de técnicas instrumentales Uva. 2023. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: <https://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/cromatografa-de-gases>
45. **PASANTES DOMÍNGUEZ, Oswaldo & NÚÑEZ DEL ARCO, Jaime.** “*Aflatoxinas en los alimentos*”. *Revista de la Universidad de Guayaquil* [en línea], 2011. (Guayaquil) 108 (3), págs. 31-34. [consultado el 8 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/rug/article/view/427/1403>

46. **RAMÍREZ ALBUQUERQUE, Lady Diana.** Influencia de las condiciones ambientales sobre el perfil de tricotecnos producido por cepas de *Fusarium graminearum* con distintos quimiotipos. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires. 2019. págs. 1-276. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/84017/CONICET_Digital_Nro.060707e7-4f67-4626-a217-7a8fdd7992c5_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
47. **RAQUENA, Fanny; SAUME, Elsy & LEÓN, Alicia.** “*Micotoxinas Riesgos y prevención*”. *Zootecnia tropical* [en línea], 2005. (Maracay, Aragua, Venezuela) 23(24), págs. 393-410. [Consulta: 17 de junio de 2023]. ISSN 0798-7269. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692005000400005
48. **REGLAMENTO (CE) N° 1881 DE LA COMISIÓN. 2006.** *Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios.*
49. **ROJAS CONTRERAS, Olga Liliana & WILCHES FLÓREZ, Angela María.** “*Determinación de aflatoxinas en alimentos de mayor consumo infantil comercializados en la ciudad de Pamplona, Norte de Santander*”. *Bistua* [en línea], 2009. (Colombia) 7(1), págs 1-11. [Consulta: 17 de junio de 2023]. ISSN 0120-4211. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/903/90312171015.pdf>
50. **RUIZ BENÍTEZ, Martha Lucia.** *Cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) y cromatografía de gases (CG)* [blog]. Universidad Simón Bolívar, 1 de agosto, 2020. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en <https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/7985/Gu%C3%ADa%20de%20Cromatograf%C3%ADa%20liquida%20de%20alto%20rendimiento%28HPLC%29%20y%20Cromatograf%C3%ADa%20de%20gases%20%28CG%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
51. **SAMANIEGO MAIGUA, Iván Rodrigo; ESPÍN MAYORGA, Herlinda Susana; VILLAVICENCIO LIZÁN, Jean Paúl; ORTIZ RAMOS, Efraín Bladimir & ZAMBRANO MENDOZA, José Luis.** “*Evaluación de la contaminación por Aflatoxinas B₁, B₂, G₁ Y G₂ en maíz amarillo duro*” *Revista ESPAMCIENCIA* [en línea],

2018 (Ecuador), 9 (1), págs. 13-21. [Consulta: 08 de noviembre de 2023]. Disponible en: http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/150/134

52. **SANTILLÁN MENDOZA, Ricardo; RODRÍGUEZ ALVARADO, GERARDO; FERNÁNDEZ PAVÍA, Sylvia; VÁZQUEZ, MARRUFO, GERARDO; MONTERO CASTRO, Juan & BENÍTEZ MALVIDO, Julieta.** “*Micotoxinas: ¿Qué son y cómo afectan a la salud pública?*” Revista digital Universitaria [en línea], 2017 (México) 18(6), págs. 1-11. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.revista.unam.mx/vol.18/num6/art46/PDF_art46.pdf
53. **SERRANO ALEJANDRO, Héctor & CARDONA CASTRO, Nora.** “*Mycotoxicosis and mycotoxins: generalities and basic aspects*” Revista CES Medicina [en línea], 2015 (Colombia) 29(1), págs.143-151. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cesm/v29n1/v29n1a12.pdf>
54. **SOCARRÁS, Julio Cesar.** *Parámetros de calidad del maíz* [blog]. Aguachica: Universidad Popular del César, 2019. [Consulta:31 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/433456649/Parametros-de-Calidad-Del-Maiz>
55. **SOLÁ, David Oriol.** *Ficha técnica: Maíz [En línea]. 3tre3.* España, 2019. Consulta:15 octubre de 2023]. Disponible en: https://www.3tres3.com/articulos/maiz_41058/
56. **U.S. GRAINS.** *Informe de la calidad de maíz para exportación 2021/2022.* [blog].2022. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: https://grains.org/lt/wp-content/uploads/sites/6/2022/06/CornExportReport2021-2022-0414_ESP.pdf
57. **UGUÑA ROSAS, María Fernanda.** Determinación del metabolito tóxico de origen fúngico en leche cruda, pasteurizada y ultra pasteurizada consumidas en la ciudad de Cuenca: aflatoxina afm1 mediante la técnica de Elisa. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca. Cuenca. 2013. pág19. [Consulta: 30 de junio de 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4703/1/TESIS.pdf>
58. **URANGO M. Luz Amparo.** “*Componentes del maíz en la nutrición humana*”. Revista UDEA [en línea], 2018. (Medellín). 1(1), págs. 187-2018. [Consulta: 02 de noviembre de

2023]. Disponible en:
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/336208/20791740>

59. **VALLEJO ROSERO, Yeraldin; BARRIOS CORREA, Luis & ANAYA GIL, Jorge.** *“La cromatografía en capa fina: una alternativa vigente en la industria farmacéutica”*. *Revista de química* [en línea], 2021. (Cartagena) 35(2), págs.19-25. [Consulta: 18 de junio de 2023]. ISSN 2518-2803 Disponible en:
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/23788>
60. **VILLAVICENCIO, Paúl & ZAMBRANO, José Luis.** *Guía para la producción de Maíz duro en la zona central de litoral ecuatoriano* [En línea] (Guía de trabajo). INIAP. Quevedo, Ecuador. 2014. págs. 1-27 [Consulta:15 de junio de 2023]. Disponible en:
<https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1551>

ANEXOS

ANEXO A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

Resultados experimentales

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				SUMA	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
T1	7,19	7,18	7,57	7,88	29,82	7,46
T2	10,6	10,54	10,68	10,74	42,53	10,63
T3	12,8	12,07	12,69	12,52	50,1	12,53

Coefficiente de variación (C.V) de 2,68

Análisis de varianza

F. V	SC	GI	CM	F	p-valor
Tratamientos	52,44	2,00	26,22	350,82	< 0,0001
Error	0,69	9,00	0,07		
Total	53,15	11,00			

($P < 0,01$) presentan diferencias altamente significativas

Prueba de tukey: cuadro de medias y asignación de rangos

Tratamientos	Medias	n	D.E	E.E.
T3	12,52	4	0,32	0,14 a
T2	10,64	4	0,09	0,14 b
T1	7,46	4	0,34	0,14 c

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)

ANEXO B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA

Resultados experimentales

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				SUMA	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
T1	92,8	92,82	92,43	92,12	370,2	92,55
T2	89,4	89,46	89,32	89,26	357,5	89,37
T3	87,2	87,93	87,31	87,49	359,9	89,98

Coefficiente de variación (C.V) de 0,30

Análisis de varianza

F. V	SC	GI	CM	F	p-valor
Tratamientos	52,34	2,00	26,17	352,84	< 0,0001
Error	0,67	9,00	0,07		
Total	53,01	11,00			

($P < 0,01$) presentan diferencias altamente significativas

Prueba de tukey: cuadro de medias y asignación de rangos

Tratamientos	Medias	n	D.E	E.E.
T1	92,54	4	0,33	0,14 a
T2	89,36	4	0,09	0,14 b
T3	87,48	4	0,32	0,14 c

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)

ANEXO C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA

Resultados experimentales

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				SUMA	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
T1	9,794	9,890	10,203	10,00	39,89	9,97
T2	8,162	8,203	8,162	8,160	32,69	8,17
T3	7,346	7,350	6,530	6,550	27,78	6,94

Coefficiente de variación (C.V) de 3,45

Análisis de varianza

F. V	SC	GI	CM	F	p-valor
Tratamientos	18,56	2,00	9,28	111,81	< 0,0001
Error	0,75	9,00	0,08		
Total	19,31	11,00			

($P < 0,01$) presentan diferencias altamente significativas

Prueba de tukey: cuadro de medias y asignación de rangos

Tratamientos	Medias	n	D.E	E.E.
T1	9,97	4	0,18	0,14 a
T2	8,17	4	0,02	0,14 b
T3	6,94	4	0,47	0,14 c

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)

ANEXO D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE AFLATOXINAS (ppb)

Resultados experimentales

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				SUMA	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
T1	2,20	2,10	2,30	2,40	9,00	2,25
T2	5,10	5,60	5,70	5,90	22,30	5,58
T3	7,5	7,9	7,6	7,11	30,11	7,53

Coefficiente de variación (C.V) de 5,51

Análisis de varianza

F. V	SC	GI	CM	F	p-valor
Tratamientos	56,96	2,00	28,48	357,70	< 0,0001
Error	0,72	9,00	0,08		
Total	57,68	11,00			

($P < 0,01$) presentan diferencias altamente significativas

Prueba de tukey: cuadro de medias y asignación de rangos

Tratamientos	Medias (ppb)	n	D.E	E.E.
T3	7,53	4	0,33	0,14 a
T2	5,58	4	0,34	0,14 b
T1	2,25	4	0,13	0,14 c

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)

ANEXO E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE FUMONISINAS (ppm)

Resultados experimentales

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				SUMA	PROMEDIO
	I	II	III	IV		
T1	0,8	0,8	0,8	0,8	3,20	0,80
T2	3,5	3,5	4,1	4,1	15,20	3,80
T3	5,4	6,7	5,6	5,8	23,50	5,88

Coefficiente de variación (C.V) de 11,08

Análisis de varianza

F. V	SC	GI	CM	F	p-valor
Tratamientos	52,08	2,00	26,04	173,93	< 0,0001
Error	1,35	9,00	0,15		
Total	53,43	11,00			

($P < 0,01$) presentan diferencias altamente significativas

Prueba de tukey: cuadro de medias y asignación de rangos

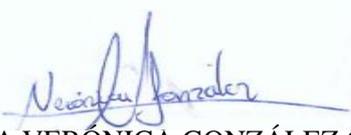
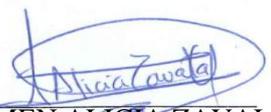
Tratamientos	Medias (ppb)	n	D.E	E.E.
T3	5,88	4	0,57	0,19 a
T2	3,80	4	0,35	0,19 b
T1	0,80	4	0,00	0,19 c

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 23/01/2024

INFORMACIÓN DE LA AUTORA
Nombres – Apellidos: JOHANNA ALEXANDRA MEDINA BARRAGÁN
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias Pecuarias
Carrera: Agroindustria
Título a optar: Ingeniera Agroindustrial
 BQF. MARÍA VERÓNICA GONZÁLEZ CABRERA Firma de la Directora del Trabajo de Integración Curricular
 BQF. CARMEN ALICIA ZAVALA TOSCANO Firma de la Asesora del Trabajo de Integración Curricular