



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Determinación de parámetros de calidad en maíces nacionales e importados y evaluación en raciones balanceadas para pollos de engorde y gallinas de postura

Yandy Johanna Aguillón Páez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Bogotá, Colombia

2020

Determinación de parámetros de calidad en maíces nacionales e importados y evaluación en raciones balanceadas para pollos de engorde y gallinas de postura

Yandy Johanna Aguillón Páez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Producción Animal

Director:
Prof. Gonzalo J. Díaz, Ph.D.

Línea de Investigación:
Toxicología
Grupo de Investigación:
Toxicología y Nutrición aviar

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Bogotá, Colombia
2020

Resumen.

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cereales de mayor producción a nivel mundial, siendo superado solamente por el trigo. Su uso no solamente incluye la alimentación humana y animal sino también la elaboración de productos industriales. En Colombia, la producción resulta insuficiente para cubrir la demanda, lo cual hace que se importen grandes cantidades de maíz, en especial de los Estados Unidos. Debido a que el maíz nacional resulta más costoso que el importado, es necesario investigar si el maíz producido localmente puede presentar ventajas tales como mejor calidad del grano y/o menor contenido de contaminantes naturales.

El objetivo del presente trabajo fue el de evaluar y comparar la calidad e inocuidad (contenido de micotoxinas) del maíz nacional frente al importado y el efecto que tiene cuando se formula en dietas para pollos de engorde y gallinas de postura.

Los estudios de calidad mostraron algunas ventajas en el maíz nacional incluyendo menor contenido de impurezas y granos quebrados, mayor contenido de materia seca y mayor contenido de energía metabolizable aparente; adicionalmente se encontraron en el maíz importado micotoxinas que no fueron detectadas en el maíz nacional (deoxinivalenol y zearalenona).

Los ensayos zootécnicos demostraron también algunas diferencias favorables al maíz nacional: en gallinas de postura se observaron tendencias y diferencias estadísticas en peso del huevo, conversión, masa de huevo y unidades Haugh; en pollos de engorde una mejor conversión alimenticia, aunque un menor porcentaje de rendimiento en pechuga. Los estudios realizados señalan la importancia de evaluar periódicamente la calidad del maíz importado y la necesidad de realizar ensayos en ciclos completos de producción.

Palabras clave: Maíz, Micotoxinas, Gallinas de postura, Pollos de engorde

Abstract.

Corn (*Zea mays*) is one of the largest cereal crops worldwide, being second only after wheat. Corn is used not only as human food and animal feed, but also in several industrial processes. In Colombia, corn production falls short to cover the country needs, making it necessary to import large amounts, specially from the United States. Since locally grown corn is more expensive than imported corn, it is necessary to investigate whether the local corn could be better than the imported in terms of grain quality and/or presence of natural contaminants.

The objective of the present work was to evaluate and compare the quality and mycotoxin content of the locally grown corn with the imported corn, and to evaluate the effects of formulating poultry diets with locally grown vs. imported corn.

The quality control studies revealed some features favoring the locally grown corn, including a smaller content of impurities and broken kernels, a larger dry matter content and a larger content of apparent metabolizable energy. Further, two mycotoxins (deoxynivalenol and zearalenone) were detected in the imported grain samples that were not found in the local corn samples.

The biological assays also showed some differences in favor of the local grain: in laying hens, trends and/or statistical differences were found for egg weight, feed conversion rate, egg mass and Haugh units; in broiler chickens a better feed conversion rate was found, although the breast yield was lower. The studies conducted show the importance of conducting periodic quality control evaluations of the imported corn, and the need to conduct more studies in which corn is evaluated in longer production cycles.

Key words: Corn, Mycotoxins, Laying hens, Broiler chickens

Dedicatoria.

“A todos los que llevo en mi mente y en mi corazón”.

Agradecimientos.



Contenido

Resumen.....	V
Abstract.....	VI
Lista de figuras	XI
Lista de tablas.....	XII
Lista de símbolos y abreviaturas	XIV
Introducción.	1
Objetivos.	3
Hipótesis.....	4
Capítulo 1. Revisión de literatura.	5
1.1 Generalidades de la industria avícola colombiana.	5
1.1.1 Generalidades del uso del maíz en Colombia.....	5
1.1.2 Tipos de maíz cultivado en Colombia y Estados Unidos.....	6
1.2 Valor nutritivo y calidad del maíz.	9
1.3 Indicadores de calidad del grano (impurezas, granos quebrados, otros daños).	10
1.4 Micotoxinas que se pueden encontrar en el maíz.	11
1.4.1 Aflatoxinas.....	12
1.4.2 Ocratoxina A.....	12
1.4.3 Toxinas T-2 y HT-2 y deoxinivalenol.	12
1.4.4 Zearalenona.....	13
1.4.5 Fumonisinias.....	13
1.5 Efectos de micotoxinas en pollos de engorde y gallinas ponedoras.....	15
1.6 Contaminación fúngica y su impacto sobre el valor nutritivo del maíz.	16
1.7 Indicadores de calidad del huevo.....	16
1.7.1 Color y manchas de la yema.....	16
1.7.2 Resistencia a la ruptura y grosor de la cáscara.....	17
1.7.3 Unidades Haugh (U.H).	17
1.8 Composición de ácidos grasos de huevo y canal de pollo.	18
1.9 Pigmentación de la piel del pollo y la yema de huevo.	19
1.10 Rendimiento en canal.....	20
Capítulo 2. Evaluación y comparación de la calidad e inocuidad (contenido de micotoxinas) del maíz nacional frente al importado.....	23

Lista de figuras

	<i>Pág.</i>
Figura 1-1: Producción nacional, demanda e importaciones de maíz en los últimos cinco años (Fenalce, 2019).....	6
Figura 1-2: Dendrograma de las relaciones genéticas de los maíces colombianos. (Tomada del Museo de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2019)	8
Figura 1-3: Estructura del grano de maíz (tomada de Tovar, 2018).....	9
Figura 1-4: Estructura química de la luteína y zeaxantina.....	19
Figura 1-5: Rendimiento en canal en machos Ross 308 AP (tomada de la guía de manejo Ross 308 AP, 2017).....	20
Figura 2-6: Rango de concentraciones y número de muestras contaminadas con fumonisinas en maíz nacional e importado.	33

Lista de tablas

	<i>Pág.</i>
Tabla 1-1: Importancia del maíz amarillo en las agrocadenas (2017).....	6
Tabla 1-2: Peso y composición de las distintas partes del grano de maíz.	9
Tabla 1-3: Clasificación en grados del grano de maíz (USDA – GIPSA).	11
Tabla 1-4: Límite máximo permitido de micotoxinas en maíz para consumo humano en Colombia y en Europa ($\mu\text{g}/\text{kg}$).....	14
Tabla 1-5: Límites máximos de residuos de micotoxinas en maíz para alimentación de aves de corral recomendados por comisión reguladora europea (EC) N°576/ 2006 y la Norma Técnica Colombiana NTC 535-1/2014.	14
Tabla 1-6: Efectos de las principales micotoxinas en pollos de engorde y gallinas ponedoras.....	15
Tabla 1-7: Composición de los lípidos de un huevo de gallina.....	18
Tabla 1-8: Composición típica de ácidos grasos de los lípidos de una yema de huevo... 18	
Tabla 2-9: Composición de la dieta experimental.....	28
Tabla 2-10: Muestras de maíces nacionales ($n = 30$) e importados ($n= 21$) clasificadas de acuerdo con su contenido de impurezas, granos quebrados y otros daños.	29
Tabla 2-11: Análisis proximal de muestras de maíces nacionales e importados.	31
Tabla 2-12: Cálculo de la energía metabolizable aparente (EMA) en maíz nacional y en maíz importado en pollos de engorde utilizando óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador.	31
Tabla 2-13: Composición porcentual de ácidos grasos en maíces producidos en Colombia y maíces importados de los Estados Unidos (US2).....	32
Tabla 2-14: Presentación y niveles de contaminación con micotoxinas en muestras de maíz nacional e importado.	34
Tabla 3-15: Composición de las dietas experimentales.	44
Tabla 3-16: Análisis proximal, perfil de ácidos grasos y contenido de micotoxinas en los maíces nacional e importado empleados en las dietas experimentales.	49
Tabla 3-17: Peso inicial y final de gallinas de postura alimentadas con dietas maíz-soya elaboradas con maíz nacional o importado.....	50
Tabla 3-18: Parámetros zootécnicos de gallinas ponedoras alimentadas con dietas elaboradas con maíz nacional o importado durante las semanas 24 a 43 de edad (20 semanas).....	51

Tabla 3-19: Parámetros zootécnicos de las 20 semanas de experimentación (24 a 43 de edad) en gallinas de postura alimentadas con dietas maíz-soya elaboradas con maíz nacional o importado.	52
Tabla 3-20: Color de yema, resistencia a la ruptura de la cáscara y unidades Haugh de huevos de gallinas ponedoras alimentadas con dietas elaboradas con maíz nacional o importado.....	54
Tabla 3-21: Manchas presentes en yema o albumen de gallinas ponedoras alimentadas con dietas elaboradas con maíces nacionales o importados (n = 30 por tratamiento). ...	54
Tabla 3-22: Composición porcentual de ácidos grasos en yemas de huevo de gallinas ponedoras alimentadas con dietas elaboradas con maíz nacional o importado (semanas 12, 16 y 20 de experimentación).	56
Tabla 4-23: Composición de las dietas experimentales.....	64
Tabla 4-24: Análisis proximal, perfil de ácidos grasos y contenido de micotoxinas en los maíces nacional e importado empleados en las dietas experimentales.	68
Tabla 4-25: Parámetros zootécnicos de pollos de engorde alimentados con dietas elaboradas con maíz nacional o importado.	70
Tabla 4-26: Pigmentación de aves alimentadas con maíz nacional e importado por 35 días.....	71
Tabla 4-27: Rendimiento en canal de pollos de engorde de 35 días alimentados con dietas elaboradas con maíz nacional o importado.	71
Tabla 4-28 Composición porcentual de ácidos grasos en músculo (pechuga) de pollos alimentados con dietas elaboradas con maíz nacional o importado (día 35 de edad).....	72

Lista de símbolos y abreviaturas

Unidad	Término	Medida
µg	microgramo	masa
mg	miligramo	masa
g	gramo	masa
kg	kilogramo	masa
t	tonelada	masa
mm	milímetros	longitud
Kcal	kilocaloría	energía térmica
ppm	partes por millón	concentración
ppb	partes por billón	concentración

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ABA	Alimentos balanceados para animales
AFB	Aflatoxinas B1 y B2
AFG	Aflatoxinas G1 y G2
ALA	Ácido α-linolénico
AOAC	Asociación oficial de químicos analíticos
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DHA	Ácido docosahexaenoico
DON	Deoxinivalenol
DSM	Dutch State Mines, compañía holandesa.
EB	Energía bruta
EC	Comisión reguladora
ED	Energía digestible
EM	Energía metabolizable
EMA	Energía metabolizable aparente
FAMES	Ésteres metílicos de ácidos grasos
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FB	Fumonisinias
FDA	Administración de alimentos y medicamentos de los Estados Unidos
FEDEGAN	Federación Colombiana de Ganaderos
FENALCE	Federación Nacional de cultivadores de cereales y leguminosas
FENAVI	Federación Nacional de Avicultores de Colombia
FI	Factor de indigestibilidad
GC-FID	Cromatografía de gases- detector de ionización de llama

HPLC	Cromatografía líquida de alta eficiencia
MS	Materia seca
MUFAS	Ácidos grasos monoinsaturados
NTC	Norma Técnica Colombiana
PUFAS	Ácidos grasos poliinsaturados
SFAS	Ácidos grasos saturados
SG	Sample grain (valor de calidad de un lote de maíz)
USDA -GIPSA	United States Department of Agriculture – Grain Inspection, Packers and Stockyard Administration
ZEA	Zearalenona

Introducción.

El maíz (*Zea mays*) es una de las gramíneas (familia Poaceae) de mayor consumo en el mundo. Aunque no se tiene certeza de su origen se cree que se domesticó y se transformó a partir del teosinte (*Zea mexicana*), para convertirse por selección y cruzamiento, en el maíz actual (*Zea mays*) (Vargas, 2014). Algunos autores afirman que el maíz y el teosinte se originaron separadamente, pero lo que se acepta en la actualidad es que el germoplasma del teosinte ha introgridido extensivamente en el del maíz durante su evolución y domesticación en México (Paliway, 2001e). Aunque el maíz evolucionó en una zona tropical, actualmente se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile; en Sudamérica el maíz se cultiva hasta los 3800 msnm, en especial en la cordillera de los Andes (Paliway, 2001e).

Hoy en día el maíz es uno de los cereales de mayor consumo en el mundo ya sea en la alimentación de animales domésticos, como alimento humano o como fuente de productos industriales, ocupando el segundo puesto en producción mundial después del trigo. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la producción mundial estimada de maíz para el 2019/2020 será de 1.019 millones de toneladas. Estados Unidos es el mayor productor con 347.488.000 toneladas en 2019-2020, seguido de China y Brasil con 254 y 101 millones de toneladas, respectivamente. Por su parte Colombia ocupa el puesto 17 con apenas 1,6 millones de toneladas en el mismo período (Micolucci, 2019).

En Colombia la industria avícola ocupa un lugar importante en la economía y seguridad alimentaria del país. La producción de huevos para 2018 estuvo cercana a los 15.000 millones de unidades, con un consumo per cápita anual de 303 huevos. Por otro lado, la producción de carne de pollo en 2018 estuvo cercana a 1.700.000 toneladas, con un consumo per cápita de 35,5 kilos/año (Fenavi, 2020). Esta actividad agropecuaria depende casi en su totalidad de la importación de maíz, ingrediente mayoritario en la elaboración de alimentos balanceados para aves, con niveles de inclusión que pueden oscilar entre el 50 y el 60%. La producción anual de maíz (cercana a 1.600.000 toneladas), es insuficiente frente a la demanda anual de aproximadamente 7.000.000 millones de toneladas (Fenalce,

2019); de esta manera el país debe importar maíz, el cual generalmente llega a precios más bajos comparado con el maíz nacional. El maíz importado proviene principalmente de Estados Unidos y Argentina y, por ende, debe recorrer miles de kilómetros, trayendo como consecuencia el riesgo de deterioro del valor nutritivo y/o de la calidad del grano. Uno de los problemas que puede afectar la calidad del maíz es la contaminación por hongos tanto de cultivo como de almacenamiento, algunos de la cuales pueden producir compuestos tóxicos conocidos como micotoxinas (Díaz, 2020). Adicionalmente, la contaminación con hongos trae como consecuencia el deterioro nutricional del grano, por cuanto los hongos consumen carbohidratos, vitaminas, grasas y proteínas, afectando principalmente el aporte energético del grano, lo cual puede generar un bajo desempeño de las aves (Díaz, 2020). Por otra parte, la importación masiva de maíz pone en riesgo a los productores nacionales. El país debe desarrollar políticas que ayuden a los cultivadores del grano a ser más productivos, a que los costos de producción disminuyan y a que puedan ser competitivos con el objetivo de ayudar a cubrir la demanda del país y disminuir las importaciones. Promover el cultivo de maíz en Colombia podría representar ventajas, puesto que los grandes recorridos y el tiempo de almacenamiento disminuirían lo cual evitaría el deterioro de la calidad del grano.

Con base en las consideraciones anteriormente mencionadas se plantearon una serie de estudios para investigar posibles diferencias en la calidad y en los efectos de utilizar maíz de producción nacional frente a maíz importado en producción de carne de pollo y de huevos. De esta manera, el presente trabajo de investigación presenta resultados de carácter preliminar que comparan algunas características físico-químicas de los maíces nacionales e importados, así como su efecto al formularlos en raciones completas para aves comerciales. El primer capítulo presenta una revisión de literatura sobre las generalidades de la industria avícola y del uso del maíz en Colombia, así como de los tipos de maíz sembrados en Colombia y en Estados Unidos. En este se describen los diferentes factores que deterioran la calidad del grano, incluyendo la posible presencia de metabolitos fúngicos (micotoxinas) que pueden contaminar el grano, así como los posibles efectos de las micotoxinas en pollos de engorde y gallinas ponedoras. Finalmente se describen algunos indicadores de calidad de huevo, pigmentación de piel y de yema del huevo y rendimiento en canal. El segundo capítulo describe la evaluación y comparación de la calidad e inocuidad (contenido de micotoxinas) de muestras de maíces nacionales e importados y el estudio realizado para evaluar la energía metabolizable aparente de un maíz nacional y uno importado, utilizando como biomodelo el pollo de engorde. El capítulo

3 muestra los resultados del efecto de la inclusión de maíz nacional o importado sobre el desempeño productivo, indicadores de calidad de huevo (peso del huevo, resistencia a la ruptura, unidades Haugh y color de la yema) en gallinas ponedoras. El último capítulo (capítulo 4) presenta los resultados del efecto de la inclusión de maíz nacional o importado sobre el desempeño productivo, rendimiento en canal y pigmentación de piel en pollos de engorde. Finalmente se presentan las conclusiones generales obtenidas luego de realizar esta serie de estudios, así como las recomendaciones finales.

Objetivos.

Objetivo general.

Evaluar y comparar la calidad e inocuidad (contenido de micotoxinas) del maíz nacional frente al importado de los Estados Unidos y su efecto cuando se formula en dietas para pollo de engorde y gallinas de postura.

Objetivos específicos.

- Comparar algunos aspectos de la composición bromatológica (análisis proximal y perfil de ácidos grasos), la calidad del grano y la energía metabolizable aparente del maíz nacional y del importado.
- Determinar y cuantificar el contenido de las principales micotoxinas (aflatoxinas B1, B2, G1 y G2, ocratoxina A, deoxinivalenol, zearalenona, fumonisinas y T-2 y HT-2 toxinas) en muestras de maíces nacionales y importados.
- Determinar la respuesta en parámetros de desempeño productivo y calidad de productos en gallina ponedora y pollo de engorde cuando se alimentan con dietas formuladas con maíz nacional o importado.

Hipótesis.

HO: El maíz nacional presenta una mejor calidad e inocuidad (presencia de micotoxinas) que el maíz importado y al incluirlo en dietas para gallina de postura y pollo de engorde produce mejores resultados zootécnicos.

H1: No existen diferencias en parámetros de calidad e inocuidad (presencia de micotoxinas) entre el maíz nacional y el importado y no se presentan diferencias en resultados zootécnicos cuando uno u otro maíz se utiliza para formular las dietas para gallinas de postura y pollos de engorde.

Capítulo 1. Revisión de literatura.

1.1 Generalidades de la industria avícola colombiana.

La avicultura es probablemente el agronegocio de mayor impacto en la economía y seguridad alimentaria del país. El consumo de carne de pollo en el año 2018 fue de 1.629.648 toneladas, mientras que el consumo per cápita anual es de 34.4 kg de pollo y de cerca de 303 huevos, con una tasa de crecimiento esperada de 1,8% al final del año. Adicionalmente para el 2019 se proyecta un crecimiento del 0,8% de pollo y 3,0% de huevo relación al año anterior (Fenavi, 2018). Según el DANE, la producción avícola alcanzó en 2017 los \$18,2 billones, lo que permite ubicarla en el cuarto lugar de producción en América Latina. Un factor importante para la sostenibilidad de esta industria es el maíz, del cual se requiere importar alrededor de 4.050.000 toneladas por año (Fenalce, 2018).

1.1.1 Generalidades del uso del maíz en Colombia.

El maíz se incluye en el alimento de las aves en un 50-60%, aportando la mayor parte de la energía y hasta un tercio de la proteína de la dieta. Su uso se ha generalizado gracias a sus altas concentraciones de almidón y su bajo contenido de factores anti-nutricionales como los polisacáridos no amiláceos (Zuber & Rodehutschord, 2017). Por tal razón, la calidad del maíz puede constituir un determinante de alto impacto tanto en los costos de producción y la rentabilidad como en la calidad e inocuidad de los productos. No obstante, existe muy poca información relacionada con las posibles diferencias de calidad del maíz nacional frente al importado o sobre el impacto que pueda tener el uso de uno u otro sobre la calidad e inocuidad de los productos. La Tabla 1-1 muestra los volúmenes de producción, importación y consumo de maíz en Colombia para el año 2017 en tanto que la Figura 1-1 muestra la producción nacional, la demanda y las importaciones de maíz en los últimos cinco años. Esta figura ilustra crecimiento en la demanda e importaciones y el estancamiento de la producción nacional.

Tabla 1-1: Importancia del maíz amarillo en las agrocadenas (2017).

Origen	Maíz nacional (t aproximadas)	Maíz importado (t aproximadas)
	1.643.187	4.200.000
Consumo ABA	350.000	4.050.000
Consumo humano	1.100.000	--
Consumo total	5.843.187	

ABA: alimentos balanceados para animales. Adaptada de Fenalce, 2018.

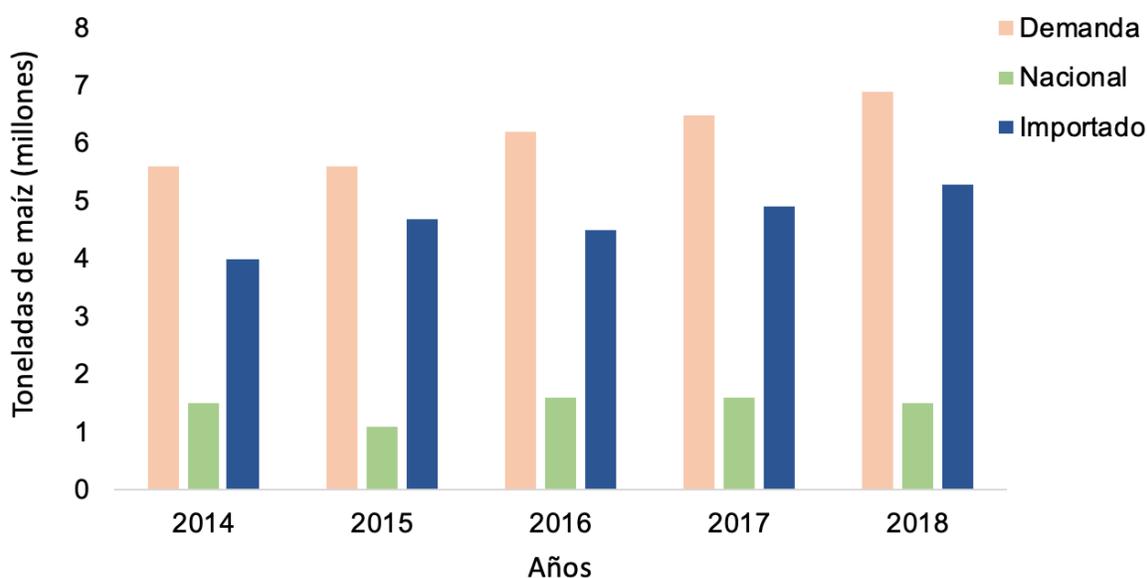


Figura 1-1: Producción nacional, demanda e importaciones de maíz en los últimos cinco años (Fenalce, 2019).

1.1.2 Tipos de maíz cultivado en Colombia y Estados Unidos.

El maíz, al igual que muchas especies vegetales, presenta una considerable diversidad según varios criterios que incluyen la constitución del endospermo y el grano, su color, el ambiente de cultivo, la madurez y su uso, entre otros. Los maíces más importantes en términos económicos son los de tipo harinoso, dentado y duro (Paliway, 2001e).

En Colombia predomina la siembra *Zea mays indurata* es conocida como maíz duro por contener una capa gruesa de endospermo cristalino que cubre un pequeño centro harinoso; además, el grano es liso, redondo y cristalino. Por otro lado, la variedad *Zea*

mays indentata, conocido también como maíz dentado, el cual se caracteriza por tener una cantidad variable de endospermo córneo (duro) y harinoso (suave). La porción harinosa se localiza en la zona central y en la corona del grano y la parte cornea está a los lados y detrás del grano. Tiene una depresión o “diente” en la corona del grano que se origina por la contracción del endospermo harinoso a medida que se va secando. Las dos variedades se utilizan principalmente para la alimentación humana y el follaje es aprovechado en alimentación animal (Guacho, 2014).

En Colombia el maíz ha evolucionado en diferentes microambientes lo que ha generado muchas variedades diferentes como resultado de las mutaciones y de la recombinación genética (Araméndiz et al., 2005). Por esta razón, la FAO (1996) señaló que la mayor diversidad genética del maíz se encuentra en el continente americano por ser su centro de origen. Las variedades de maíces criollos colombianos, así como sus relaciones genéticas se muestran en la Figura 1.2.

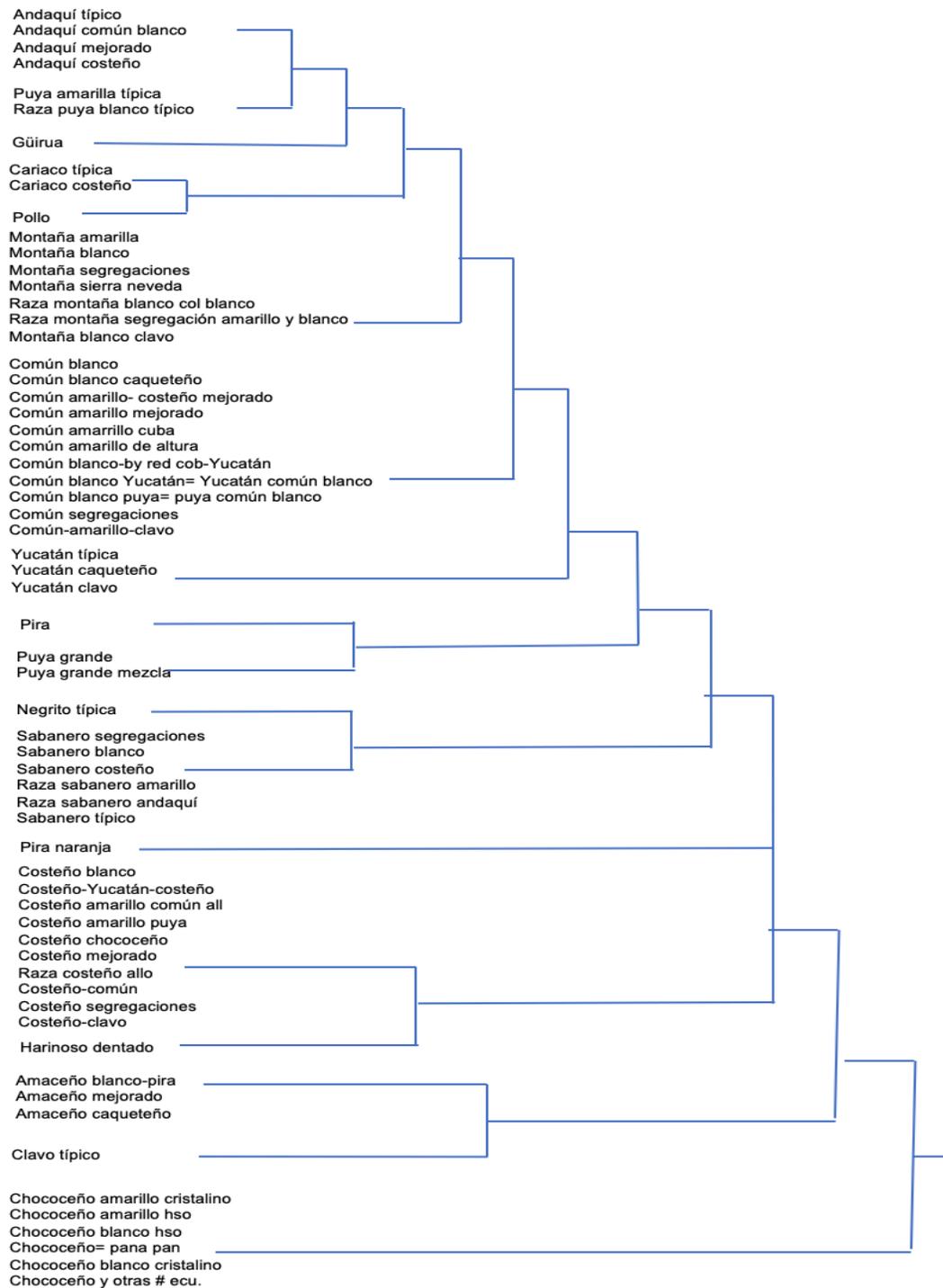


Figura 1-2: Dendrograma de las relaciones genéticas de los maíces colombianos. (Tomada del Museo de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2019)

1.2 Valor nutritivo y calidad del maíz.

El valor nutricional del grano está determinado por el tipo de maíz, condiciones del cultivo, temperatura y modificaciones genéticas, las cuales determinan su composición química y contenido particular de nutrientes. La composición química promedio de las principales partes de un grano de maíz se resume en la Tabla 1-2, mientras que la Figura 1-3 muestra las diferentes partes del grano.

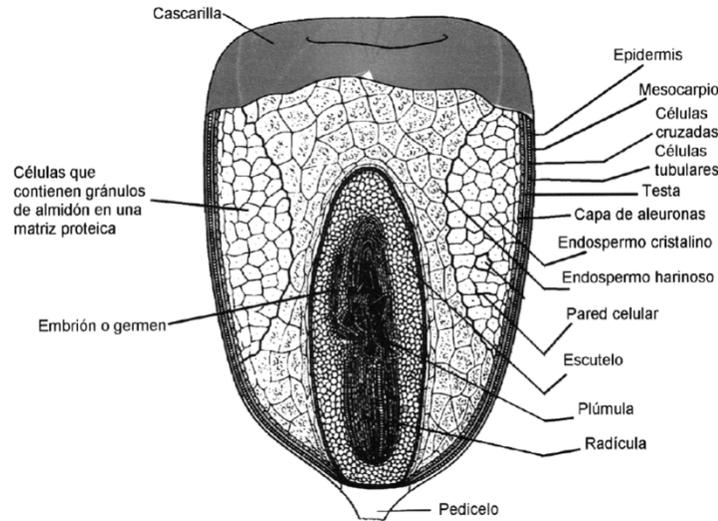


Figura 1-3: Estructura del grano de maíz (tomada de Tovar, 2018).

Tabla 1-2: Peso y composición de las distintas partes del grano de maíz.

Componente (%)	Escutelo	Germen	Pericarpio	Endospermo	Total
Almidón	5.3	8.3	7.3	87.6	63.0
Grasas	3.8	33.8	1.0	0.8	4.5
Proteínas	9.1	18.4	3.7	8.0	8.4
Cenizas	1.6	10.5	0.8	0.3	1.9
Azúcares	1.6	10.8	0.3	0.6	1.1
Materia seca	0.8	11.0	5.2	83.0	88.0

Adaptado de Paliwal, 2001e; Cázares et al., 2015 y Miranda et al., 2016.

El almidón de maíz es un polisacárido formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina; estas moléculas están organizadas en anillos concéntricos, lo cual genera su característica estructura granular (Agama et al., 2013). En cuanto a la composición proteica, cerca del 80% de las proteínas corresponden a proteínas de reserva y almacenamiento. En el endospermo se pueden encontrar prolaminas (denominada zeína en el caso del maíz), cuya función es almacenar nitrógeno para la germinación; también

en el endospermo se hayan las glutelinas, las cuales son proteínas estructurales que presentan enlaces de disulfuro y un alto peso molecular (Hernández et al., 2015).

En los triglicéridos del aceite de maíz el ácido graso más abundante (>50%) corresponde a ácido linoleico (Carrillo et al., 2017), el cual es el único ácido graso esencial en aves (Watkins, 1995). En menor proporción se presentan los ácidos oleico (30%), palmítico (13%) y esteárico (2%) (Sanjeev et al., 2014). Adicionalmente, el maíz tiene un importante contenido de carotenoides, pigmentos liposolubles que dan el color amarillo al grano y cuyo contenido está influenciado por el genotipo (Salinas et al., 2008). El maíz puede presentar un contenido de hasta 66 µg/g de carotenoides dependiendo del genotipo (García et al., 2015), pero su contenido tiende a disminuir con el almacenamiento (Bartov & Bornstein, 1967). Las gallinas tienen la capacidad de absorber los carotenoides de la dieta, los cuales son depositados en la yema (dándole el característico color amarillo) para finalmente ser transferidos al embrión (Cherian, 2008; Rosa et al., 2017).

1.3 Indicadores de calidad del grano (impurezas, granos quebrados, otros daños).

En general, el maíz destinado a la alimentación animal no debe contener olores extraños, impurezas o material extraño y debe estar libre de insectos o de cualquier otro tipo de plagas. Sin embargo, durante el almacenamiento del grano es posible la formación de microambientes debidos a las interacciones entre la humedad, luz, temperatura o inclusive hongos e insectos; estos microambientes tienden a generar focos de calentamiento los cuales pueden dar inicio al deterioro del grano (Hernández et al, 2009). A continuación, se describen los principales indicadores de calidad del grano.

Impurezas: corresponden a cualquier material que sea diferente a un grano de maíz, por ejemplo, piedras, pedazos de madera o de tusa, semillas de malezas o de otras plantas, entre otras.

Granos partidos o quebrados: son los granos que atraviesan una criba de 4,76 mm (mesh No. 4).

Otros daños: corresponde a los granos que en su interior pueden contener insectos en cualquier estado biológico, granos que presenten contaminación fúngica o granos dañados por calor, lo cual se manifiesta como un cambio en el color, causado por un secado

inadecuado o por autocalentamiento. La USDA-GIPSA (United States Department of Agriculture – Grain Inspection, Packers and Stockyard Administration) en sus estándares para maíz (United States Standards for Corn) de 1996 tiene una clasificación para el maíz en grano como se indica en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Clasificación en grados del grano de maíz (USDA – GIPSA).

Maíz				
Grado	Límite mínimo de	Límite máximo de		
	Peso por bushel (libras)	Granos quemados o dañados (%)	Total de granos dañados (%)	Granos partidos e impurezas (%)
U.S. No. 1	56,0	0,1	3,0	2,0
U.S. No. 2	54,0	0,2	5,0	3,0
U.S. No. 3	52,0	0,5	7,0	4,0
U.S. No. 4	49,0	1,0	10,0	5,0
U.S. No. 5	46,0	3,0	15,0	7,0

U.S. sample grade (grado muestra): (a) No cumple con los requisitos para los grados U.S No. 1, 2, 3, 4, 5; o (b) Contiene piedras que tienen un peso superior al 0,1% de peso de la muestra, 2 o más piezas de vidrios, 3 o más semillas de *Crotalaria spp.*, 2 o más semillas de ricino (*Ricinus communis*), 4 o más partículas desconocidas de sustancias extrañas o sustancias tóxicas reconocidas como peligrosas, 8 o más semillas de cadillo (*Xanthium spp.*) o similares, solas o en combinación o desechos de animales que excedan el 0,20% en 1000 g; o (c) Tiene un olor extraño a humedad, agrio o de alguna manera cuestionable de manera comercial o (d) Se encuentra en proceso de calentamiento o es de baja calidad.

1.4 Micotoxinas que se pueden encontrar en el maíz.

Dentro de los factores de riesgo, quizá la principal amenaza resultante del almacenamiento del grano por largos periodos es el crecimiento fúngico y la formación de micotoxinas. Estos compuestos exhiben una amplia gama de efectos biológicos, incluyendo efectos hepatotóxicos, nefrotóxicos, genotóxicos, carcinogénicos, embriotóxicos, neurotóxicos, inmunomoduladores y teratogénicos. Las características más relevantes de las principales micotoxinas que pueden presentarse en el maíz se describen a continuación.

1.4.1 Aflatoxinas.

Son micotoxinas sintetizadas por los hongos de almacenamiento *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius* y *A. pseudonomius*. La contaminación del grano puede presentarse en la pre o postcosecha dado que estos hongos se encuentran en el suelo en condiciones normales ya sean tropicales o subtropicales y las esporas son transportadas por el aire (Acuña et al., 2005). Las aflatoxinas de ocurrencia natural son un grupo de cuatro toxinas denominadas aflatoxinas B1 (AFB1), B2 (AFB2), G1 (AFG1) y G2 (AFG2); *A. flavus* produce únicamente aflatoxinas B1 y B2, mientras que los demás hongos pueden producir tanto aflatoxinas B como G (Damianidis et al., 2018). La más tóxica y más comúnmente encontrada es la AFB1. Las condiciones óptimas para el desarrollo de aflatoxinas en alimentos almacenados comprenden temperaturas entre 19 y 27°C y humedades relativas de 70 a 89% (Oliveira et al., 2014).

1.4.2 Ocratoxina A.

Es producida principalmente por los hongos *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus ochraceus* y *Penicillium verrucosum*. Esta micotoxina puede estar presente en los cereales, el café y otros alimentos. Experimentalmente causa disminución del consumo de alimento y baja producción de huevos en ponedoras. En pollos de engorde los principales signos de la ocratoxicosis son baja conversión alimenticia acompañada de un aumento en el consumo de agua, lo cual genera heces blandas (Leeson et al., 1995). La ocratoxina A presenta una gran resistencia a las altas temperaturas y a la acidez por lo que es difícil eliminarla luego de contaminado el producto (El Khoury & Atouri, 2010).

1.4.3 Toxinas T-2 y HT-2 y deoxinivalenol.

Son micotoxinas del grupo de los tricotricenos producidas por varias especies del género *Fusarium*, contaminante de cereales, principalmente el maíz. La exposición aguda a tricotricenos causa daño severo a las células que se dividen activamente como las de la médula ósea y la mucosa intestinal; adicionalmente se pueden observar lesiones orales que aparecen en el pico y el paladar duro (Leeson et al., 1995). Dentro del grupo de los tricotricenos se encuentra también el deoxinivalenol (DON), micotoxina muy frecuentemente encontrada en el maíz, que, sin embargo, presenta muy baja toxicidad en aves.

1.4.4 Zearalenona.

Es una micotoxina con efectos estrogénicos producida principalmente por *Fusarium graminearum*, *F. culmorum* y *F. equiseti*. Generalmente se produce durante el crecimiento de la planta en campo, especialmente cuando se trata de ambientes húmedos y cálidos (Ramos, 2009). Los efectos estrogénicos se manifiestan principalmente en hembras de mamíferos siendo su toxicidad muy baja en aves. En un estudio realizado con pollos de engorde y codornices no se encontraron efectos en los parámetros zootécnicos luego de adicionarle 1, 10 y 30 ppm de zearalenona en las dietas de los pollos, así como 0, 10 y 25 ppm a las codornices (Bacon & Marks, 1976). En un estudio de prevalencia realizado en Colombia se encontró zearalenona en solo 2 de 33 muestras de maíz (Díaz & Céspedes, 1997).

1.4.5 Fumonisinias.

Son micotoxinas producidas principalmente por el hongo *Fusarium verticillioides* el cual es un endófito contaminante normal en el maíz. Cuando las condiciones ambientales son favorables para el hongo, origina deterioro del grano. Las fumonisinias del grupo B, son las de mayor ocurrencia, dentro de las cuales se encuentran la FB1, FB2 y FB3, siendo la FB1 la más común y más tóxica de todas (De la Torre et al., 2014). En Colombia muestras provenientes de fábricas de alimento para animales presentaron un promedio de FB1 de 694 µg/kg con un rango de 32-2964 µg/kg y de FB2 de 283 µg/kg, con un rango de 44-987 µg/kg (Perilla & Diaz, 1998).

Las micotoxinas más importantes se encuentran reguladas y el límite máximo de residuo en maíz para consumo humano de acuerdo con la normatividad europea [Comisión reguladora (EC) N°1881/ 2006] y la colombiana (Ministerio de salud y protección social Resolución 4506/ 2013) se muestra en la Tabla 1-4. La Tabla 1-5 muestra los límites máximos de residuo recomendados para micotoxinas en maíz para el consumo de aves de corral de acuerdo también a las regulaciones europea [Comisión Reguladora (EC) N°576/ 2006] y colombiana (Norma Técnica Colombiana 535-1/2014).

Tabla 1-4: Límite máximo permitido de micotoxinas en maíz para consumo humano en Colombia y en Europa ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

Micotoxinas	Tipo de maíz	Colombia	Europa
Aflatoxinas totales	Maíz sin elaborar	10	10
	Maíz procesado	5	5
Ocratoxina A	Maíz sin elaborar	5	5
	Maíz procesado	3	3
Toxinas T-2 y HT-2	Maíz sin elaborar	NR	NR
	Maíz procesado	NR	NR
Deoxinivalenol	Maíz sin elaborar	1,750	1,750
	Maíz procesado	750	750
Zearalenona	Maíz sin elaborar	350	200
	Maíz procesado	75	200
Fumonisinias B1 y B2	Maíz sin elaborar	4,000	2,000
	Maíz procesado	1,000	400

NR: No regulada.

Tabla 1-5: Límites máximos de residuos de micotoxinas en maíz para alimentación de aves de corral recomendados por comisión reguladora europea (EC) N°576/ 2006 y la Norma Técnica Colombiana NTC 535-1/2014.

Micotoxinas	Colombia	Europa
Aflatoxinas	20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)	NR
Ocratoxina A	200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)	250 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)
		100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)*
Toxinas T2 y HT2	200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb) ^{****}	NR
Deoxinivalenol	10 mg/kg (ppm) ^{***}	12 mg/kg (ppm)
Zearalenona	1 mg/kg (ppm)	3 mg/kg (ppm)
		60 mg/kg (ppm)
Fumonisinias B1+B2	30 mg/kg (ppm) ^{***}	20 mg/kg (ppm) ^{**}

*Piensos complementarios y complementos para avicultura.

^{**}Aves de corral menores de 4 meses^{***} Que no exceda el 50% en la dieta^{****}Alimento terminadoppm: partes por millón (mg/kg); ppb: partes por billón ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

NR: no regulado

1.5 Efectos de micotoxinas en pollos de engorde y gallinas ponedoras.

La Tabla 1-6 resume los principales efectos de las micotoxinas en pollos de engorde y gallinas ponedoras. Los efectos tóxicos dependen de la concentración de la toxina, el tiempo de exposición y la edad del ave, entre otros factores.

Tabla 1-6: Efectos de las principales micotoxinas en pollos de engorde y gallinas ponedoras.

Especie	Micotoxina y concentración	Efecto	Referencia
Gallina ponedora	Aflatoxina B1 (250 ppm, 313 ppm, 391 ppm)	Baja producción de huevo. Bajo peso de huevos. Disminución del color de la yema.	Pandey & Chauhan, 2007
Gallina ponedora	Aflatoxina B1 (0,6; 1,2 y 2,5 ppm por 2 semanas)	Baja calidad y producción de huevo. Aumento de la susceptibilidad a salmonelosis, candidiasis y coccidiosis.	Applegate et al., 2009
Gallina ponedora	Fumonisina B1 85 ppm y aflatoxina B1 0,1 ppm	Reducción en postura del 20% y mortalidad del 10%. Hemorragias en proventrículo e hígado de tonalidad amarillo claro.	Prathap Kumar et al., 1997
Pollo de engorde	Fumonisina B1 (FB1, 10 ppm) y aflatoxina B1 (AFB1, 50, 350 y 2450 ppb) por 21 días	No se observaron cambios en parámetros hematológicos o séricos seleccionados. Lesiones en hígado y riñones	Del Bianchi et al., 2005
Pollo de engorde	T-2 toxina (2,5 ppm)	Lesiones en duodeno, molleja, proventrículo, esófago y boca.	Díaz et al., 2016
Pollo de engorde	T-2 toxina (4,5 y 13,5 ppm)	Disminuye el consumo de alimento y la ganancia de peso.	Rezar et al., 2007
Gallina ponedora	T-2 toxina 0 y 2 ppm y 4,15-diacetoxiscirpenol (DAS) 0 y 2 ppm	Reducción de consumo de alimento y la producción de huevos.	Díaz et al., 1994

ppm: partes por millón (mg/kg)

1.6 Contaminación fúngica y su impacto sobre el valor nutritivo del maíz.

Además del riesgo potencial de contaminación con micotoxinas, la presencia de hongos en el grano puede ocasionar efectos adversos sobre su calidad nutricional. Por ejemplo, en un estudio realizado con maíz se encontró que el grano contaminado con hongos estuvo asociado a una menor digestibilidad de la materia seca (Sharby et al., 1973). En otro estudio, la inoculación con *Penicillium spp.* y *A. ochraceus* a una dieta ocasionó disminución en la utilización de energía y en la digestibilidad de los aminoácidos y de la materia seca (Talmadge et al., 1982). Por otra parte, estudios realizados hace varias décadas demostraron que los hongos secretan lipasas, las cuales hidrolizan los triglicéridos hasta ácidos grasos libres como fuente de energía del microorganismo contaminante, disminuyendo el valor nutritivo del grano y su densidad (Christensen y Kaufman, 1965).

1.7 Indicadores de calidad del huevo.

El huevo es uno de los alimentos más completos por su contenido de proteínas, grasas, minerales, carbohidratos (azúcares libres y oligosacáridos conjugados) y vitaminas. Sin embargo, la calidad del huevo puede verse afectada por diferentes factores tales tanto genéticos como nutricionales. Dentro de los parámetros más comúnmente evaluados en huevos de mesa se encuentran el color de la yema y presencia de manchas, la resistencia a la ruptura y el grosor de la cáscara y las unidades Haugh. Estos parámetros se describen a continuación.

1.7.1 Color y manchas de la yema.

En algunos mercados específicos, el consumidor relaciona la calidad nutricional del huevo con una coloración intensa de la yema. Esta idea es errónea, puesto que no existe relación alguna entre el color de la yema y el contenido de nutrientes. El color de la yema está determinado por los tipos y las cantidades de pigmento, ya sean naturales o sintéticos, presentes en el alimento y en la capacidad del ave para absorber y depositar estos pigmentos (Santana, 2008). Sin embargo, en algunos países, los consumidores prefieren huevos con yemas más pigmentadas. Típicamente el color de la yema se determina de

manera subjetiva utilizando una escala de tonos de amarillo-naranja (de 1 a 15) desarrollada por Laboratorios Roche (en la actualidad DSM). Valores de color de yema de 10, 12 y 14 son los preferidos por los consumidores brasileiros (Souza, 2008). Por otro lado, las manchas de color marrón o rojizo que a veces aparecen en el interior del huevo no deben confundirse con el desarrollo embrionario, sino que son simplemente células epiteliales procedentes del oviducto que se han desprendido al formarse el huevo. La presencia de estas manchas tiende a causar rechazo en el consumidor.

1.7.2 Resistencia a la ruptura y grosor de la cáscara.

La resistencia a la ruptura y el grosor de la cáscara dependen de la edad de las aves y el tamaño del huevo. El valor de grosor de cáscara debe estar entre 0,24 y 0,40 mm (Buxadé et al., 1995). La resistencia de la cáscara disminuye con la edad y está asociada a disminución en la formación de la capa empalizada, especialmente, la capa de conos; los conos son estructuras compactas con un diámetro pequeño en relación con la altura y su conformación en empalizada determina que la cáscara disponga de una elevada resistencia a la ruptura (Rose, 1997).

1.7.3 Unidades Haugh (U.H).

Las Unidades Haugh (U.H.) son una medida de la calidad de la proteína que correlaciona la altura del albumen denso que rodea la yema con el peso del huevo. La prueba fue desarrollada por Raymond Haugh en 1937 (Haugh, 1937) y asocia valores mayores de U.H. con mejor calidad. En términos de U.H. se considera que un huevo es de calidad aceptable cuando presenta valores superiores a 70 (la escala de valores oscila entre 0 a 100). Las U.H. disminuyen con la edad del lote de gallinas y el tiempo de almacenamiento del huevo; la disminución es mayor si los huevos se mantienen en condiciones de temperatura y humedad relativa incorrectas (Codony, 2002). Como se mencionó inicialmente, las U.H. están relacionadas con el peso del huevo, el cual a su vez depende de varios factores, incluyendo la edad de las aves. Luego de iniciada a postura, el peso del huevo aumenta, para hacerse posteriormente constante y luego va disminuyendo a medida que las aves envejecen (Rose, 1997). Además de la edad, otros factores que influyen en el peso del huevo son la genética, el peso de las aves y los cambios en la alimentación (Buxadé et al., 2000).

1.8 Composición de ácidos grasos de huevo y canal de pollo.

La composición de los lípidos de la yema de un huevo de gallina, así como la composición promedio de ácidos grasos de la yema se muestran en las Tablas 1-7 y 1-8. Con relación a la información reportada en la Tabla 1-7 es importante aclarar que la composición de los ácidos grasos de la yema puede modificarse mediante modificaciones en la dieta del ave; esto se puede hacer, por ejemplo, con el fin de incrementar la deposición de ácidos grasos de interés nutracéutico como los ácidos grasos omega-3 (Betancourt & Diaz, 2009).

Tabla 1-7: Composición de los lípidos de un huevo de gallina.

Fracción lipídica	Porcentaje de peso total de lípidos	g de ácido graso / g de fracción lipídica	g de ácido graso / g total de lípidos
Triglicéridos	64	0,956	0,62
Lecitina	24	0,708	0,17
Cefalina	6	0,756	0,04
Colesterol	5	N.A.	N.A.

(Tomada de Weihrauch et al, 1977). N.A: no aplica.

Tabla 1-8: Composición típica de ácidos grasos de los lípidos de una yema de huevo.

Unidades	Ácidos grasos				
	Saturados		Insaturados		
	16:0	18:0	16:1	18:1	18:2
Porcentaje de FAMES	26	9,3	3,9	43	13
g / 100 g grasa	22	7,7	3,3	37	11
g /100 g alimento	7,4	2,6	1,1	12	3,7

(Tomada de Weihrauch et al, 1977). FAMES: Ésteres metílicos de ácidos grasos

En cuanto a la composición de los ácidos grasos de la canal de pollos de engorde se ha encontrado que en pollitos de 3 semanas de edad predominan los ácidos grasos de 16 carbonos (C16:0 y C16:1 cis-9) y de 18 carbonos de longitud (C18:0; 18:1 cis-9; C18:1 cis-11; C18:2 cis-9,12 y C18:3 cis-9,12,15), mientras que ácidos grasos de 20 carbonos (C20:2 cis-11,14; C20:4 cis-5,8,11,14) y 22 carbonos (C22:0; C22:1 cis-13; C22:4 cis-7,10,13,16, C22:5 cis-7,10,13,16,19; C22:6 cis-4,7,10,13,16,19) pueden encontrarse cuando estos son suministrados en la dieta (Edwards et al., 1962 & Rule et al., 2002). En estudios realizados

también con pollos de engorde se ha encontrado que el ácido araquidónico (C20:4, n-6) está presente en la piel y en la grasa visceral (Darrow & Essary, 1955; Miller et al., 1962).

1.9 Pigmentación de la piel del pollo y la yema de huevo.

Lograr una pigmentación apropiada de los productos avícolas es una prioridad de la industria avícola colombiana debido a la necesidad de satisfacer las expectativas del consumidor. El maíz contiene normalmente alrededor de 5 ppm de xantofilas y 0,5 ppm de carotenoides (Leeson & Summers, 2005), siendo la luteína y la zeaxantina (Figura 1-4) los principales pigmentos presentes en el grano.

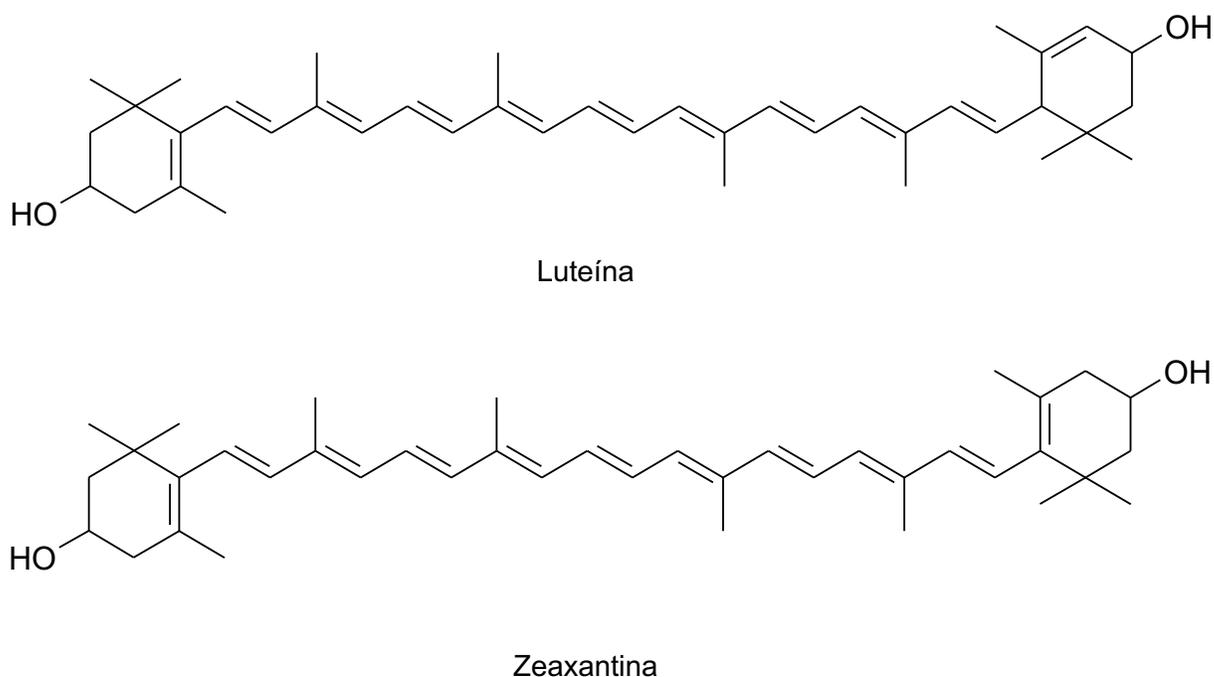


Figura 1-4: Estructura química de la luteína y zeaxantina.

La presencia de estos pigmentos en el alimento no solamente colabora al aumento del grado de pigmentación en la piel y la yema, sino que también constituye una fuente importante de estos compuestos para el consumidor. En este contexto es importante mencionar que la luteína y la zeaxantina son casi exclusivamente los únicos carotenoides presentes en la mácula densa del ojo humano, y se definen como los pigmentos maculares. Su función consiste en mejorar la función visual, protegiendo las estructuras visuales del

daño oxidativo a través de la neutralización de radicales libres (Olea et al., 2012). La degeneración macular relacionada con la edad (AMD) es un trastorno degenerativo y progresivo de la mácula, la parte central de la retina, asociado con la pérdida de visión central. Es la principal causa de discapacidad visual y ceguera en personas mayores de 60 años en países industrializados (Del Mar Bibiloni et al., 2014) y por esta razón existen recomendaciones de ingesta mínima diaria de luteína con el fin de prevenir o mitigar la enfermedad.

1.10 Rendimiento en canal.

El objetivo final en la producción de pollo de engorde es alcanzar un buen rendimiento en canal el cual debe estar por encima del 71% (Figura 1-5) para obtener un margen de ganancia adecuado. Además de proporcionar al ave un alimento que cubra todos sus requerimientos de nutrientes, un rendimiento adecuado solo se logra si se lleva a cabo un manejo apropiado desde el ingreso de las aves a la granja hasta su salida a sacrificio; incluso es posible observar que a pesar de haber cumplido con todas las condiciones de nutrición y manejo, el proceso se puede ver comprometido si en las últimas 24 horas de la vida del pollo no se realiza adecuadamente el atrape, el ayuno, el transporte y el tiempo de espera en planta para su ingreso en la línea.

Macho Ross 308 AP - Porción							
Peso Vivo	(kg) (lb)		Pechuga %	Pierna %	Muslo %	Ala %	Eviscerado %
		1,6	3,53	21,05	13,09	10,16	7,81
	1,8	3,97	21,40	13,24	10,17	7,79	71,80
	2,0	4,41	21,73	13,38	10,17	7,77	72,17
	2,2	4,85	22,04	13,51	10,18	7,75	72,52
	2,4	5,29	22,33	13,64	10,18	7,73	72,86
	2,6	5,73	22,59	13,75	10,19	7,71	73,20
	2,8	6,17	22,84	13,85	10,19	7,69	73,53
	3,0	6,61	23,07	13,94	10,20	7,67	73,85
	3,2	7,05	23,27	14,03	10,20	7,65	74,16
	3,4	7,50	23,46	14,10	10,21	7,63	74,46
	3,6	7,94	23,62	14,17	10,21	7,61	74,75

Figura 1-5: Rendimiento en canal en machos Ross 308 AP (tomada de la guía de manejo Ross 308 AP, 2017).

Otro factor que afecta el rendimiento en canal es la edad de los pollos al momento del sacrificio; en pollos de engorde de ambos sexos se reportó un rendimiento del 75,5% a las cuatro semanas y del 78,1% a las ocho semanas (Singh & Essary 1974). En la Figura 1-5 resume el rendimiento en canal expresado como porcentaje de pechuga, pierna, muslo, ala y eviscerado, en relación con el peso vivo.

En resumen, el maíz es un cereal de gran importancia económica a nivel mundial tanto por su utilización como alimento humano, como por sus altos niveles de inclusión en alimentos balanceados para animales. En Colombia, el maíz tiene gran importancia en la dieta de los humanos, siendo consumido en forma de arepas, harinas para diferentes variedades de envueltos y numerosas recetas de cocina. Su uso en alimentación animal está enfocado principalmente en la fabricación de alimentos para pollos de engorde y gallinas ponedoras. Debido a que la producción nacional de maíz es muy baja con respecto a la demanda, es indispensable realizar importaciones del grano; sin embargo, en ocasiones se autorizan importaciones que no corresponden a la realidad de faltantes en los mercados internos, produciéndose una sobreoferta con efectos económicos adversos sobre la producción nacional. La Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE) hace esfuerzos para aumentar su producción, puesto que el consumo cada vez es mayor y es preciso acudir con frecuencia a los contingentes de importación. A este respecto surge el interrogante sobre la calidad del maíz que ingresa al país en cuanto a sus características físicas y su inocuidad (contenido de micotoxinas); adicionalmente es posible que existan diferencias en la composición de nutrientes entre el maíz nacional y el importado que puedan ocasionar diferencias en el desempeño zootécnico de los animales alimentados con estos dos tipos de maíz. La investigación de estas potenciales diferencias es indispensable para poder tomar decisiones de compra de uno u otro maíz, basándose en parámetros no solo de calidad sino también de precio.

Capítulo 2. Evaluación y comparación de la calidad e inocuidad (contenido de micotoxinas) del maíz nacional frente al importado

2.1 Resumen.

El objetivo del presente estudio fue evaluar si existen o no diferencias entre el maíz producido en Colombia y el maíz importado de Estados Unidos, en cuanto a parámetros seleccionados de la calidad del grano, energía metabolizable aparente y contenido de micotoxinas. Los estudios de laboratorio de calidad del grano incluyeron el análisis de 30 muestras de maíz nacional y 21 de maíz importado para determinar granos quebrados, impurezas y otros daños. Adicionalmente se analizaron 15 muestras de cada origen para bromatología y 10 de cada maíz para determinar el perfil de ácidos grasos. Utilizando la clasificación de USDA (United States Department of Agriculture) se encontró 6 muestras de maíz nacional y ninguna del maíz importado correspondían a grado US1 (la mejor calidad). Por otra parte, en “grado muestra” (sample grade, SG), correspondiente al maíz de menor calidad, se encontraron 10 y 6 muestras, para el maíz importado y el nacional, respectivamente. Adicionalmente se detectó la presencia de granos de soya en 15 de las 21 muestras de maíz importado y en ninguna en las muestras de maíz nacional. En relación con las micotoxinas no se presentaron o su nivel fue muy bajo para micotoxinas de *Aspergillus spp.* (aflatoxinas y ocratoxina A) en ninguno de los dos tipos de maíz. Sin embargo, todas las muestras de maíz importado presentaron niveles detectables de las fusariotoxinas deoxinivalenol, zearalenona y fumonisinas, en tanto que las muestras de maíces nacionales solo presentaron fumonisinas.

Los análisis proximales mostraron un contenido de carbohidratos ligeramente menor en el maíz nacional comparado con el importado (85,4 y 86,7%, respectivamente), aunque el porcentaje de proteína fue similar en ambos tipos de maíz (7,6 y 7,5%). Un hallazgo

interesante fue el mayor contenido de extracto etéreo en el maíz nacional comparado con el importado (3,8 y 3,1%, respectivamente). Los valores de energía metabolizable aparente (EMA) del maíz nacional e importado fueron 3698 kcal/kg y 3368 kcal/kg, respectivamente, es decir, el maíz importado presentó un contenido de EMA 9% inferior al del maíz nacional. Los coeficientes de digestibilidad de la materia seca del maíz nacional y el importado fueron de 76% y 73%, respectivamente. Los perfiles de ácidos grasos del aceite de las muestras de maíz mostraron resultados similares entre sí.

Los resultados de los estudios de laboratorio realizados muestran diferencias importantes entre los maíces nacionales y los procedentes de Estados Unidos, principalmente en el contenido de extracto etéreo y a la presencia y contenido de micotoxinas y de semillas contaminantes (soya). Los granos crudos de soya son fuente de compuestos antinutricionales, en especial, de inhibidores de proteasas y pueden representar un riesgo para el desempeño de las aves. Estos hallazgos indican que el uso de maíz cultivado en Colombia podría representar ventajas frente al importado.

2.2 Introducción.

La industria avícola colombiana ocupa un lugar importante en la economía y seguridad alimentaria del país, sin embargo, este agronegocio depende casi en su totalidad de maíz importado para la elaboración de alimentos balanceados. La relevancia del maíz radica en que es el ingrediente mayoritario en la dieta de las aves, con niveles comunes de inclusión del 50% al 60%; por tal razón, su calidad tiene un alto impacto sobre la salud y el desempeño de las aves. La importación del maíz involucra largos recorridos y tiempos prolongados de almacenamiento que generan riesgos de deterioro de la calidad. Los principales factores que afectan la calidad del maíz son la humedad del grano, la temperatura de almacenamiento y las condiciones de transporte y de comercialización. Uno de los problemas frecuentes que deterioran la calidad del grano es la contaminación por hongos tanto de cultivo como de almacenamiento y la posible producción de compuestos potencialmente tóxicos conocidos como micotoxinas. Un efecto adicional de la contaminación con hongos es el deterioro nutricional del grano por cuanto los hongos consumen carbohidratos, vitaminas, grasas y proteínas, afectando principalmente el aporte energético del grano, lo cual puede generar un bajo desempeño de las aves. Los hongos secretan lipasas, las cuales hidrolizan los triglicéridos hasta ácidos grasos libres como fuente de energía del microorganismo contaminante (Christensen y Kaufman, 1965). La

pérdida de ácidos grasos ocasiona disminución en el contenido energético del grano y en la energía metabolizable del mismo. Aunque la calidad e inocuidad de los maíces importados y los producidos en Colombia podrían presentar diferencias, no existen estudios comparativos entre el maíz producido localmente y el importado. En este contexto, el objetivo del presente proyecto fue el de evaluar y comparar la calidad e inocuidad (contenido de micotoxinas) del maíz nacional frente al importado.

2.3 Materiales y métodos.

El muestreo estuvo a cargo de la “Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas” (FENALCE). Durante un periodo de un año se recogieron muestras de maíz importado en dos de los principales puertos marítimos colombianos (Buenaventura y Santa Marta). Para la toma de muestras se indicó que debían seleccionar mínimo 10 puntos para el muestreo, con una submuestra de 500 g, y que obtuvieran un total de 5 kg mínimo. Las muestras de maíz nacional se recogieron de la misma manera en los departamentos del Valle del Cauca y Tolima. Las muestras se enviaron inmediatamente después de la recolección al laboratorio, empacadas en bolsas de papel para evitar la condensación de humedad y evitar la proliferación de hongos. Dependiendo de los análisis realizados se procesó un número diferente de muestras de maíz nacional y de importado debido a diferencias en la disponibilidad de lotes de maíz. Los análisis químicos que se realizaron fueron los siguientes:

2.3.1 Análisis proximal.

Un total de 15 muestras de cada tipo de maíz se sometieron a análisis proximal, el cual comprende el porcentaje de materia seca (Método 2001.12), materia mineral (Método 935.12), proteína bruta (Método 968.06), extracto etéreo (Método 920.39), fibra bruta (Método 962.09) y extracto libre de nitrógeno, todos estos conforme a las metodologías descritas por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists International, 2006).

2.3.2 Análisis de micotoxinas.

En 30 muestras de maíz nacional y 23 de importado se determinaron las siguientes micotoxinas por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) de acuerdo con las normas técnicas colombianas (NTC) o métodos AOAC: aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 (NTC 1232), zearalenona (ZEA) (NTC 4881), ocratoxina A (NTC 5472), T-2 y HT-2 toxinas (NTC 6027)

y deoxinivalenol (DON) (NTC 5961). Fumonisin B1, B2 y B3 se analizaron por HPLC - espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) de acuerdo con la metodología descrita por Martos et al. (2010).

2.3.3 Parámetros de calidad del grano.

Los parámetros de calidad del grano se determinaron con base en su contenido porcentual de granos quebrados, de impurezas. Experimentalmente se determinaron separando los diferentes componentes de una muestra de 1 kg maíz con cribas de 4,76 mm (mesh 4) y de 2,38 mm (mesh 8) (Hernández et al., 2009; CIMMYT, 2016). Adicionalmente a 10 muestras de maíz nacional y 10 de maíz importado se les determinó el perfil de ácidos grasos de la grasa del grano mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID) de acuerdo con la metodología descrita en estudios previos (Betancourt & Diaz, 2009).

Adicionalmente a los análisis químicos se realizó un ensayo biológico para determinar la energía metabolizable aparente en muestras compuestas de maíz nacional o de importado como se describe a continuación.

2.3.4 Energía metabolizable aparente.

Se utilizaron 180 pollos machos de un día de edad de la estirpe Ross 308 AP, los cuales se distribuyeron aleatoriamente en tres grupos experimentales de 60 aves por tratamiento y 10 aves por réplica. Las aves fueron alojadas en baterías en una sala de experimentación con temperatura controlada, con una temperatura inicial de 32°C y restricción de luz de 4 horas diarias de 12:00 m a 4:00 pm. La energía metabolizable aparente se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Sakomura & Rostagno (2016) utilizando óxido de cromo (III) como marcador (Cr_2O_3). Se evaluaron tres dietas, incluyendo una de referencia sin maíz, balanceada de acuerdo con los requerimientos nutricionales de las aves (Rostagno et al., 2017) y otras dos en la que se utilizó una mezcla de diferentes muestras maíz del mismo origen, que se utilizaron para reemplazar un 40% de la dieta de referencia, así (Tabla 2-9):

- Tratamiento 1: 100% dieta de referencia balanceada con base en almidón-soya.
- Tratamiento 2: 60% dieta de referencia + 40% de maíz nacional.

- Tratamiento 3: 60% dieta de referencia + 40% de maíz importado.

(1) Análisis de muestras: alimento y excretas se colectaron los días 19, 20 y 21 para análisis de energía bruta. Para los cálculos de energía metabolizable se determinó el contenido de cromo tanto en dietas como en excretas recogidas durante los últimos 3 días del experimento. Durante el periodo de recolección de muestras la dieta se suministró a diferentes horas del día para evitar desperdicio.

(2) Cálculos: La EMA se calculó aplicando las siguientes ecuaciones:

- **Factor de indigestibilidad (FI):** $(FI) = \frac{\% \text{ del marcador en la dieta a evaluar}}{\% \text{ del marcador en la excreta}}$

-**EMA de las dietas experimentales:**

$(EMA \text{ de las dietas experimentales}) = (EB \text{ de la dieta}) - (EB \text{ excreta} * FI)$

- **EMA maíz:** $(EMA \text{ maíz}) = (EMA \text{ dieta de referencia}) + \frac{EMA \text{ dieta a evaluar} - EMA \text{ referencia}}{0.4}$

Se realizó colecta total de las excretas en la mañana y en la tarde, separando plumas u otro material diferente a las excretas, las cuales fueron colocadas en bandejas de aluminio para luego secarlas en horno de ventilación forzada a 55°C por 72 horas (Sakomura & Rostagno, 2016). Cabe anotar que la colecta total de excretas no requiere necesariamente del uso de un marcador como el que se utilizó en este estudio.

Tabla 2-9: Composición de la dieta experimental.

Ingredientes %	Tratamiento Almidón	Tratamiento Maíz nacional	Tratamiento Maíz importado
Almidón	45,6		
Maíz nacional	-		
Maíz importado	-		
Torta de soya	32,1		
Soya integral	10,0	60 % Dieta de	60 % Dieta de
Harina de pescado	8,0	tratamiento de	tratamiento de
Aceite vegetal	1,26	almidón más 40%	almidón más 40% de
Sal común	0,30	de maíz nacional.	maíz importado.
Carbonato de calcio	0,45		
Fosfato de calcio	0,80		
Bicarbonato	0,30		
PMV	0,10		
Colina	0,10		
Metionina	0,32		
Treonina	0,03		
Óxido de cromo	0,50		

P.M.V = premezcla mineral y vitamínica.

2.4 Análisis estadístico.

Las variables-respuesta se agruparon utilizando medidas de tendencia central y de dispersión y se compararon utilizando una prueba t para muestras independientes o análisis de varianza de una vía según el caso, siempre y cuando se determinara el supuesto de homogeneidad de varianzas. Para variables sin homogeneidad de varianza se realizaron pruebas de estadística no paramétrica. Las variables cualitativas fueron

analizadas mediante la prueba de Chi cuadrado. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa STATISTIX versión 9, bajo un nivel de significancia de 0,05. Para el ensayo biológico, la unidad experimental fue la repetición y se utilizó el modelo completamente al azar que se describe con la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable respuesta de la j-ésima con $j=1, \dots, 6$ repetición que recibió la procedencia i , $i=1, 2$.

μ = Promedio poblacional

α_i = Efecto de la procedencia i , $i=1, 2$.

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la observación Y_{ij} con $i=1, 2$ y $j=1, \dots, 6$

2.5 Resultados.

2.5.1 Evaluación de la calidad del grano.

Debido a la imposibilidad de conseguir más muestras de maíz importado, el análisis de calidad del grano se le realizó a 30 muestras de maíz nacional y a 21 de importado. La clasificación de calidad se llevó a cabo de acuerdo con los lineamientos descritos en el documento "Official United States Standards for Grain" del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Bajo esta clasificación porcentajes de impurezas más granos quebrados de <2%, <3%, <4%, <5% y 7% corresponden a los grados US1, US2, US3, US4, US5, respectivamente. Cuando el grano es de calidad inferior a US5 se clasifica como SG ("sample grade").

Tabla 2-10: Muestras de maíces nacionales ($n = 30$) e importados ($n= 21$) clasificadas de acuerdo con su contenido de impurezas, granos quebrados y otros daños.

Variables grano	Tipo de maíz	Número de muestras					
		US1	US2	US3	US4	US5	SG
Porcentaje de impurezas + granos quebrados	Nacional	6	4	6	5	3	6
	Importado	0	1	5	1	4	10

El 20% (6/30) de las muestras de maíz nacional se clasificaron como US1 (la mejor calidad) mientras que ninguna de maíz importado cayó en esta categoría (Tabla 2-10). En grado

US2 se encontraron el 13% (4/30) de muestras de maíz nacional vs. 5% (1/21) de maíz importado. En grados US3 a US5 se encontraron el 48% (10/21) de las muestras de maíz importado, mismo porcentaje correspondiente a las muestras SG. El porcentaje de muestras de maíz nacional en grados US3 a US5 fue similar (47% correspondiente a 14 de 30 muestras) pero el porcentaje en grado SG fue de apenas un 20% (6/30). Un aspecto relevante de este estudio de calidad del grano fue el hallazgo de granos de soya contaminando 15 de las 21 muestras de maíz importado.

En cuanto a los resultados del análisis proximal se encontró que el maíz importado presentó un contenido menor de materia seca y de cenizas y un contenido mayor de extracto libre de nitrógeno (Tabla 2-11).

La energía metabolizable aparente (EMA) a los 21 días de edad de pollos de engorde alimentados con maíz nacional e importado utilizando óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador se resume en la Tabla 2-12. Los valores obtenidos de EMA para el maíz nacional y el importado fueron de 3698 Kcal/kg (con base en MS) y 3368 Kcal/kg (con base en materia seca), respectivamente. Los coeficientes de digestibilidad de la materia seca del maíz nacional y del maíz importado fueron de 76 y 73%, respectivamente.

La Tabla 2-13 muestra la composición porcentual promedio de los ácidos grasos encontrados en los dos tipos de maíz evaluados, también conocida como perfil de ácidos grasos. Con excepción del ácido palmitoleico (C16:1), el porcentaje de todos los ácidos grasos difirió de manera significativa ($P < 0,05$). De igual manera, el contenido de ácidos grasos monoinsaturados (MUFAS), poliinsaturados (PUFAS), saturados (SFAS), n-3, n-6 y la relación n-6/n-3 difirieron significativamente ($P < 0,05$). El ácido graso presente en mayor concentración correspondió al ácido linoleico (C18:2, n-6) tanto en el maíz nacional como en el importado (50,6 y 55,5%, respectivamente), seguido de los ácidos grasos oleico (31,3 y 27,7%, respectivamente), palmítico (13,3 y 12,5%, respectivamente) y linoleico (2,14 y 1,69%, respectivamente). El porcentaje de los demás ácidos grasos encontrados fue cercano al 1% o inferior, incluyendo el único ácido graso n-3 presente en el aceite de maíz, el α -linolénico (C18:3, n-3).

Tabla 2-11: Análisis proximal de muestras de maíces nacionales e importados con base en materia seca.

	Materia seca %	Proteína cruda %	Cenizas %	Extracto etéreo %	Fibra bruta %	ELN %
Nacional	88,0 ± 0,2 ^a	7,6 ± 0,3 ^a	1,2 ± 0,1 ^a	3,8 ± 0,3 ^a	2,0 ± 0,1 ^a	85,4 ± 0,4 ^b
Importado	86,7 ± 0,2 ^b	7,5 ± 0,2 ^a	1,0 ± 0,0 ^b	3,1 ± 0,3 ^a	1,7 ± 0,1 ^a	86,7 ± 0,3 ^a
P	<0,001	0,822	0,011	0,101	0,146	0,010

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 15 muestras por tratamiento. En una misma columna promedios con letras iguales no difieren significativamente (P<0,05). ELN: Extracto libre de nitrógeno.

Tabla 2-12: Cálculo de la energía metabolizable aparente (EMA) en maíz nacional y en maíz importado en pollos de engorde utilizando óxido de cromo (Cr₂O₃) como marcador.

Resultados obtenidos en la materia seca (ms)	Dietas experimentales		
	Almidón	Nacional	Importado
DIETAS			
Energía bruta (kcal/kg)	4440	4380	4350
Cromo en la dieta (g/kg)	0,48	0,46	0,53
EXCRETAS			
Energía bruta (kcal/kg)	3547	3808	3825
Cromo en la excreta (g/kg)	1,48	1,89	1,97
F.I. = cromo en dieta/cromo excretas	0,324	0,243	0,269
EMA de dieta de referencia (kcal/kg)	3290	3453	3321
EMA de los maíces (kcal/kg ms)		3698	3368
Coeficiente de digestibilidad de la ms		76	73

F.I. = Factor de indigestibilidad. E.M.A. = Energía metabolizable aparente.

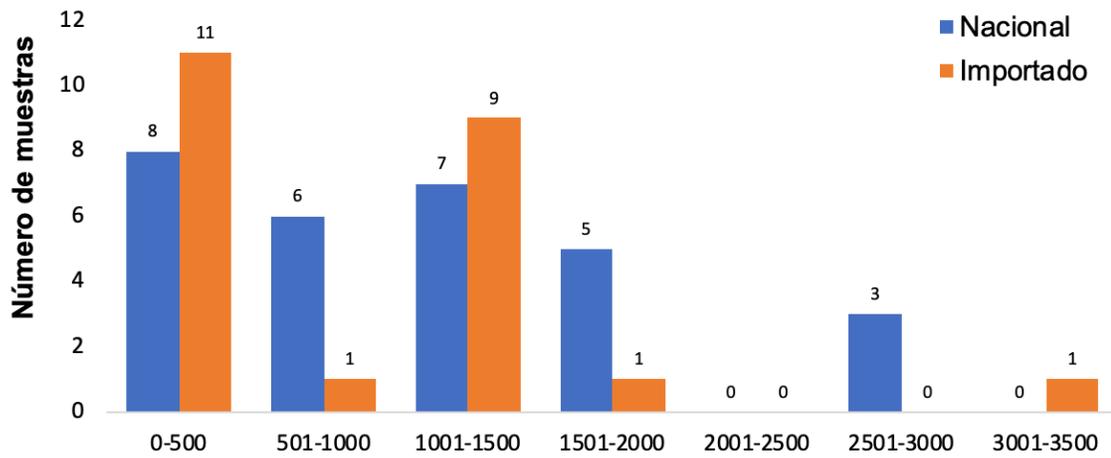
Tabla 2-13: Composición porcentual de ácidos grasos en maíces producidos en Colombia y maíces importados de los Estados Unidos (US2).

Ácido graso	Origen del maíz		
	Nacional	Importado	P
C16:0 (palmítico)	13,3 ± 0,13 ^a	12,5 ± 0,32 ^b	0,038
C16:1 (palmitoleico)	0,17 ± 0,09 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,057
C18:0 (esteárico)	2,14 ± 0,08 ^a	1,69 ± 0,05 ^b	<0,001
C18:1 (oleico)	31,3 ± 0,73 ^a	27,7 ± 0,20 ^b	<0,001
C18:2, n-6 (linoleico)	50,6 ± 0,69 ^a	55,5 ± 0,34 ^b	<0,001
C18:3, n-3 (α-linolénico)	0,94 ± 0,02 ^b	1,12 ± 0,01 ^a	<0,001
C20:0 (araquídico)	0,57 ± 0,03 ^a	0,33 ± 0,01 ^b	<0,001
C20:1 (eicosamonoenoico)	0,31 ± 0,01 ^a	0,26 ± 0,00 ^b	<0,001
MUFAS	31,8 ± 0,74 ^a	28,1 ± 0,21 ^b	<0,001
PUFAS	51,5 ± 0,70 ^b	56,6 ± 0,34 ^a	<0,001
SFAS	16,0 ± 0,23 ^a	14,6 ± 0,36 ^b	0,006
n-6	50,6 ± 0,76 ^b	55,5 ± 0,28 ^a	<0,001
n-3	0,94 ± 0,02 ^a	1,12 ± 0,01 ^a	<0,001
n-6/n-3	53,8 ± 1,09 ^a	49,5 ± 0,67 ^a	0,001

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 10 observaciones por tratamiento. En una misma fila los promedios con letras iguales no difieren significativamente (P<0,05). MUFAS: ácidos grasos monoinsaturados; PUFAS: ácidos grasos poliinsaturados; SFAS: ácidos grasos saturados; n-6: omega 6; n-3: omega 3. n-6/n-3: relación omega 6/omega 3.

El contenido de micotoxinas se determinó en 23 muestras de maíz importado y 30 de maíz nacional (Tabla 2-14). Dos de las 23 muestras de maíz importado presentaron aflatoxina B1 (1,7 y 2,1 ppb) y una de maíz nacional (2,8 ppb). No se encontraron niveles detectables de ocratoxina A, T-2 toxina ni HT-2 toxina en ninguna de las muestras analizadas. El 61% (14 de 23) y 43% (10 de 23) de las muestras de maíz importado presentaron DON y ZEA respectivamente, mientras que el 100% presentaron fumonisinas. Las concentraciones de DON en las muestras positivas oscilaron entre 109 y 484 ppb, mientras que las de ZEA oscilaron entre 28,4 y 88 ppb. Las fumonisinas totales registraron un valor mínimo de 94,7 y máximo de 3,199 ppb. En el maíz nacional no se encontraron ZEA ni DON, pero sí fumonisinas. Las concentraciones máximas y mínimas de fumonisinas totales en el maíz

nacional fueron de 52 y 4,798 ppb, respectivamente. La Figura 2-6 muestra los niveles de fumonisinas totales encontrados en las muestras de maíz nacional e importado organizados por rangos de contaminación. En general la mayor cantidad de muestras presentó niveles entre 0 y 500 ppb, seguidas por los niveles entre 1001 y 1500 ppb.



Concentración de fumonisinas totales (FB1, FB2, FB3 $\mu\text{g}/\text{kg}$)

Figura 2-6: Rango de concentraciones y número de muestras contaminadas con fumonisinas en maíz nacional e importado.

Tabla 2-14: Presentación y niveles de contaminación con micotoxinas en muestras de maíz nacional e importado.

Micotoxinas µg/kg (ppb)	Origen	Número de muestras analizadas	Número de muestras positivas	Porcentaje	Media	Mediana	Mínimo	Máximo
Aflatoxina B1	N	30	1	3%	2,8	--	2,8	2,8
	I	23	2	9%	1,9	1,9	1,7	2,1
Ocratoxina A	N	30	0	0%	--	--	--	--
	I	23	0	0%	--	--	--	--
T2-toxina	N	30	0	0%	--	--	--	--
	I	23	0	0%	--	--	--	--
HT-2 toxina	N	30	0	0%	--	--	--	--
	I	23	0	0%	--	--	--	--
Deoxinivalenol	N	30	0	0%	--	--	--	--
	I	23	14	61%	252	182	109	484
Zearalenona	N	30	0	0%	--	--	--	--
	I	23	10	43%	53	55	28	88
Fumonisina B1	N	30	30	100%	889	718	113	3290
	I	23	23	100%	694	682	95	2390
Fumonisina B2	N	30	27	90%	283	252	61	1200
	I	23	18	78%	184	173	58	596
Fumonisina B3	N	30	20	67%	154	139	52	308
	I	23	12	52%	112	93	59	213
Fumonisinas totales	N	30	30	100%	1196	1099	52	4798
	I	23	23	100%	864	559	95	3199

N: nacional; I: importado

2.6 Discusión.

El maíz es el principal ingrediente en raciones completas para avicultura de manera que conocer la calidad del grano es un aspecto de gran relevancia en la elaboración de las raciones. La calidad puede evaluarse tanto de manera físico-química en el laboratorio o a través de ensayos biológicos. Diversos parámetros físicos se utilizan para determinar de manera subjetiva la calidad del maíz utilizando el sistema adoptado por GIPSA-USDA en el cual la mejor calidad es el grado US1 y la peor SG (“sample grade”), pasando por los grados US2 a US5. La clasificación está determinada por porcentajes máximos de granos quebrados, de material extraño (impurezas) y de granos dañados. En Colombia, el tratado de libre comercio con los Estados Unidos permite la importación de lotes de maíz grado US2 con preferencias arancelarias (Vanegas-Angarita, 2019).

Contrariamente a lo esperado, solo una de las 21 muestras de maíz importado correspondió a grado US2, 10 a los grados US3 a US5 y 10 a grado SG. Una posible explicación para este hallazgo es que se esté importando grano que no corresponde al grado US2, aunque también es posible que el maíz originalmente corresponda al grado US2 pero que durante el transporte se deterioren ya que se ha encontrado que cada manipulación causa aumento en el porcentaje de granos quebrados y formación de polvo, llevando al incremento en el grado de clasificación (Györi, 2017; Hernández et al., 2009). Las impurezas son otro tema importante, principalmente la presencia de semillas contaminantes como la de frijol soya. Su presencia en maíces importados puede representar un riesgo potencial debido al contenido de esta fabácea de diversos factores antinutricionales. El frijol soya crudo contiene inhibidores de proteasas, lectinas y saponinas que disminuyen el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento en animales (Perilla et al., 1997).

En cuanto a los análisis proximales se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el contenido de materia seca (88,0 y 86,7% para el maíz nacional e importado, respectivamente) y el contenido de cenizas (1,2 y 1,0 %, respectivamente). Estas diferencias pueden obedecer a diferencias en la cantidad y tipo de fertilizantes utilizados, a la composición del suelo y/o a factores ambientales (Agama et al., 2011). El contenido de carbohidratos (expresado como extracto libre de nitrógeno) puede variar de acuerdo con el tipo, el tamaño y la forma del grano, aunque algunos no reportan diferencias entre el maíz cristalino (indurata) y el harinoso (indentata) (70,3 y 70,4%, respectivamente)

(Tovar & Colonia, 2013). En el presente estudio se encontraron diferencias leves pero significativas entre el maíz nacional y el importado (85,4 y 86,7%, respectivamente), lo cual podría estar relacionado con el contenido del endospermo puesto que el nacional presenta endospermo tanto duro como suave, mientras que en el maíz importado solo presenta endospermo suave (Tovar & Colonia, 2013). La principal proteína del maíz se conoce como zeína (prolamina) y se encuentra presente en el germen. Los niveles de proteína encontrados en el presente estudio fueron similares en el maíz nacional y el importado (7,6 y 7,5%, respectivamente) y corresponden a lo esperado en maíces no modificados genéticamente para contener mayor proteína (Tovar, 2008; Tovar & Colonia, 2013). La proteína del maíz se considera deficiente en lisina y triptófano y se han desarrollado variedades con un mayor contenido de proteína (por ejemplo, el conocido como opaco 2); en Argentina lograron una mayor acumulación de lisina cuando incorporaron al genoma del grano un gen de *Corynebacterium glutamicum* (Simón & Golik, 2018). En cuanto al contenido de fibra se encontró un 2,0% para maíz nacional y de 1,7% para maíz importado; estas diferencias podrían estar relacionadas con el porcentaje de pericarpio en el grano (Tovar, 2008). Finalmente, el extracto etéreo resultó ser el parámetro que presentó las mayores diferencias, con porcentajes en el maíz nacional e importado de 3,8 y 3,1%, respectivamente. El extracto etéreo del maíz se encuentra depositado en el germen y constituye una de las fuentes de energía del grano. Una posible explicación para esta diferencia podría estar en el mayor contenido de micotoxinas del maíz importado (Tabla 2-11), lo cual podría estar asociado a una mayor contaminación fúngica. Los hongos tienen la capacidad de secretar lipasas, las cuales hidrolizan los triglicéridos hasta ácidos grasos libres, los cuales son utilizados como fuente de energía del microorganismo contaminante (Christensen & Kaufman, 1965).

El estudio *in vivo* llevado a cabo para determinar la energía metabolizable aparente (EMA) arrojó valores para el maíz nacional y el importado de 3698 y 3368 Kcal/kg, respectivamente. Conocer la cantidad de energía que se encuentra disponible para el animal en cada ingrediente de una dieta para aves comerciales es indispensable ya que los rendimientos productivos del animal dependen del adecuado balanceo de la energía y la proteína. En aves comerciales se utiliza el concepto de energía metabolizable (EM) para expresar la fracción de energía bruta ingerida utilizada, en vez de energía digestible (ED), ya que tanto orina como heces son excretadas simultáneamente en la cloaca. No obstante,

la EMA no contempla las pérdidas de carácter endógeno que no proceden directamente del alimento ingerido como por ejemplo las secreciones digestivas, descamaciones intestinales, cuerpos bacterianos y constituyentes nitrogenados procedentes del catabolismo de proteínas, entre otros (Leeson & Summers, 2001). La diferencia observada en EMA entre el maíz importado y el nacional (330 Kcal/kg más en el maíz nacional) podría explicarse por el menor contenido de extracto etéreo y de materia seca encontrado en el maíz importado.

En cuanto al coeficiente de digestibilidad de la materia seca los valores encontrados para el maíz nacional y el importado fueron de 76 y 73%, respectivamente. El coeficiente de digestibilidad representa la cantidad de materia seca aprovechada por el ave por unidad de materia seca ingerida (Sakomura & Rostagno, 2016). Por otro lado, el coeficiente de digestibilidad de materia seca aporta información acerca de la disponibilidad de nutrientes y energía de las materias primas, necesarias para la formulación de raciones con niveles eficientes de nutrientes (Vásquez et al., 2013). Esta diferencia de 3 puntos porcentuales también podría mostrar una mayor digestibilidad del maíz nacional vs. el maíz importado.

El perfil de ácidos grasos de los dos tipos de maíz evaluados mostró resultados consistentes con lo reportado en estudios previos. Desde hace años se ha establecido que el ácido graso predominante del aceite de maíz es el linoleico (C18:2, n-6), seguido por los ácidos oleico (C18:1), palmítico (C14:0) y esteárico (C18:0) (Györi, 2017). Un ejemplo de estudio del perfil de ácidos grasos del maíz es el reportado por Carrillo et al. (2017) en el cual se encontró un 52,7% de ácido linoleico, 29,7% de oleico, 12,6% de palmítico y 2,0% de esteárico; estos porcentajes son similares a los encontrados en el presente estudio para los dos tipos de maíz. No obstante, el maíz importado presentó un mayor porcentaje de ácido linoleico que el maíz nacional (55,5 y 50,6 %, respectivamente). El contenido de ácidos grasos depende de la temperatura (ya sea estrés por calor o por frío/congelación), la cual causa disminución en el contenido de ácidos grasos en el grano (Harwood, 1998). En cuanto al contenido de micotoxinas se encontró un patrón de contaminación muy similar en ambos maíces para las dos micotoxinas de *Aspergillus spp.* analizadas (aflatoxinas y ocratoxina A), pero se presentaron diferencias en el contenido de fusariotoxinas. Sólo dos muestras de maíz importado presentaron AFB1 y sólo una de maíz nacional y en todos los casos los niveles fueron menores a 3 µg/kg. La concentración de aflatoxinas totales permitidas para consumo humano y animal es de 10 y 20 µg/kg, respectivamente, de

manera que los niveles encontrados no representan riesgo toxicológico para ninguna de las especies domésticas, incluso para especies sensibles como el cerdo y el pato. Estos resultados son muy inferiores a los reportados previamente en Colombia en donde 4 de 33 muestras de maíz resultaron positivas a AFB₁, con una concentración promedio de 20 µg/kg (Díaz & Céspedes, 1997). La ausencia de niveles detectables de ocratoxina A tanto en maíz nacional como importado, concuerda con estudios anteriormente realizados en Colombia (Céspedes, 1997). Se ha encontrado que la mayor prevalencia de esta micotoxina se registra en países del norte de Europa, en algunas provincias de Canadá y en Argentina (Lee & Ryu, 2017).

En el presente estudio se evaluaron las principales fusariotoxinas, dentro de las cuales se incluyen micotoxinas reguladas como las fumonisinas, el DON, la ZEA y otras no reguladas pero que también presentan importancia como son los principales tricotocenos tipo A (toxinas T-2 y HT-2). En el maíz importado se encontraron DON y ZEA a concentraciones promedio en muestras positivas de 252 (rango de 109 a 484 µg/kg) y de 53 µg/kg (rango de 28 a 88 µg/kg) respectivamente, en tanto que el maíz nacional no presentó contaminación con estas fusariotoxinas. Estos resultados coinciden con lo reportado en diversos estudios llevados a cabo en los Estados Unidos en los que se reporta una alta prevalencia de DON y ZEA (Lee & Ryu, 2017). Una posible explicación de estos resultados es la presentación de estrés en campo durante el crecimiento del maíz causado por cambios bruscos de temperatura (Hajnal et al., 2013). También podría deberse al uso de variedades de maíz que tienden a tener una mayor susceptibilidad a la contaminación, lo cual ha llevado a la búsqueda de híbridos resistentes (Presello et al., 2016). Aunque las concentraciones de DON y ZEA encontradas en el maíz importado no representan ningún riesgo en pollos o en gallinas, estos niveles podrían afectar la salud y el desempeño productivo en cerdos. Respecto a las toxinas T-2 y HT-2, no se encontraron niveles detectables de ninguna de ellas en las muestras de maíz nacional o de importado. Estos resultados reiteran lo encontrado en los últimos años en cuanto a la baja prevalencia de estas micotoxinas en el mundo (Lee & Ryu, 2017), lo cual llevó a la Unión Europea a desistir de regular estas toxinas en alimentos para humanos y animales.

El contenido promedio de fumonisinas totales en las muestras de maíz nacional y de importado fue de 1195 µg/kg (rango de 52 a 4789 µg/kg) y 864 µg/kg (rango de 95 a 3199 µg/kg), respectivamente, presentándose niveles detectables en la totalidad de las muestras

evaluadas. Estos resultados no son algo fuera de lo común ya que las fumonisinas se consideran componentes normales del grano de maíz puesto que son producidas por un hongo endófito (*Fusarium verticillioides*), es decir, un habitante normal del grano de maíz (Díaz, 2020). La importancia de las fumonisinas no radica en su presencia o no en el maíz sino en las concentraciones que puedan encontrarse en los diferentes lotes. A este respecto, los niveles encontrados en algunas de las muestras se encuentran por encima de lo recomendado para especies sensibles de animales domésticos como el equino y el conejo, en la cuales no se recomienda más de 1 mg/kg de fumonisinas totales en la dieta final (FDA, 2001)

Los resultados globales del presente estudio muestran que el maíz importado tiende a presentar un mayor contenido de granos quebrados, lo cual puede estar asociado a un mayor deterioro del grano debido al transporte y procesos de carga y descarga. Por otro lado, presenta un menor contenido de materia seca asociado a un menor contenido de extracto etéreo, lo cual coincide con el menor contenido de energía encontrado en este maíz comparado con el de producción nacional. Adicionalmente, la presencia de semillas de soya en el 71% de las muestras de maíz importado puede representar un peligro potencial debido a la presencia de inhibidores de proteasas y otros factores antinutricionales en el grano de soya cruda. Por otro lado, el maíz importado presentó fusariotoxinas comunes en Norte América que no fueron detectadas en los maíces de producción nacional y que podría afectar a especies sensibles de animales domésticos. Todos estos hallazgos demuestran que existen diferencias en algunas de las variables de calidad evaluadas, diferencias que podrían representar una ventaja en el uso del maíz nacional frente al importado. Es necesario continuar con estos estudios para determinar si estos hallazgos se repiten en el tiempo y para investigar las concentraciones de micotoxinas ya que sus concentraciones pueden variar de acuerdo con el momento del muestreo.

Capítulo 3. Efecto de la utilización de maíz nacional o importado en la formulación de dietas para gallinas ponedoras sobre el desempeño productivo y la calidad del huevo

3.1 Resumen.

El presente estudio evaluó las posibles diferencias en parámetros de desempeño productivo y calidad del huevo en gallinas ponedoras alimentadas con dietas formuladas con maíz producido en Colombia o con maíz importado de Estados Unidos. Se utilizaron 80 gallinas de la línea Hy-line Brown de 24 semanas de edad que se distribuyeron al azar en dos grupos experimentales de 40 aves cada uno. Las dietas experimentales se suministraron durante 20 semanas y la unidad experimental fue el ave individual. Los parámetros de desempeño evaluados fueron consumo de alimento, producción de huevo, conversión alimenticia y masa del huevo; los parámetros de calidad de huevo incluyeron la resistencia de la cáscara a la ruptura, el color de la yema, el peso del huevo, el valor de las unidades Haugh y la presencia de manchas de carne y de sangre. Adicionalmente se determinó la composición de ácidos grasos en la yema de los huevos.

Excepto por diferencias en conversión alimenticia en las semanas 36 a 39, y en el peso y masa de huevo en las semanas 28 a 31, no se encontraron diferencias significativas en parámetros productivos. En cuanto a la calidad del huevo se observaron diferencias significativas en el color de la yema en los muestreos realizados en las semanas 4, 12 y 20 y en el único muestreo realizado para determinar unidades Haugh (semana 20). La composición de ácidos grasos mostró un mayor contenido de ácido α -linolénico en la grasa

de la yema de los huevos producidos por las gallinas alimentadas con maíz importado, lo cual se reflejó en un valor ligeramente menor del cociente $n-6/n-3$.

En general puede concluirse que no se presentan diferencias importantes en cuanto a la utilización de maíz nacional o importado en el desempeño y calidad de los huevos en gallinas ponedoras. Sin embargo, algunas variables mostraron una tendencia ($P < 0,1$) a favorecer el uso del maíz nacional, como el peso y la conversión alimenticia, factores que podrían estar asociados al mayor contenido de extracto etéreo del maíz nacional comparado con el importado. Otra posible explicación puede ser el diferente contenido de micotoxinas de los maíces evaluados que puede estar relacionado con un mayor crecimiento de especies de *Fusarium* durante el crecimiento de la planta. Se recomienda la realización de estudios en donde se evalúe todo el ciclo productivo de las aves, los cuales podrían clarificar mejor estos aspectos.

3.2 Introducción.

El huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*) es uno de los alimentos de origen animal más completos, debido a su alto valor nutricional y alta densidad de nutrientes. Estas características nutricionales obtenidas a un bajo costo hacen que el consumo de huevo sea elevado en todo el mundo; adicionalmente el huevo hace parte de diferentes productos culinarios tales como las tortas y pastas. La producción comercial de huevos constituye una importante actividad económica en muchos países y en Colombia se estima que en el año 2018 se produjeron cerca de 15.000 millones de unidades, lo que representa un consumo per cápita anual aproximado de 293 huevos (Fenavi, 2019).

A nivel comercial, la producción de huevos se evalúa no solamente por los parámetros zootécnicos productivos sino también por parámetros de calidad del huevo. Dentro de estos últimos se incluyen el peso, el grosor de la cáscara y su resistencia a la ruptura, el color de la yema y las unidades Haugh, parámetro que estima la calidad de la proteína. La calidad del huevo está determinada por la estirpe de ave, la alimentación, el manejo y la edad del ave, entre otros factores (García et al., 2016). Un factor adicional para considerar dentro de las características del huevo es la composición de ácidos grasos de la grasa de la yema. El contenido de ácidos grasos del tipo omega-3, así como el cociente omega-6/omega-3 han tomado relevancia en los últimos años debido al efecto que puede tener

un desbalance de esta relación sobre la incidencia de enfermedad cardíaca coronaria en humanos (Simopoulos, 2009).

La composición del alimento determina el desempeño zootécnico del ave y la calidad del huevo, y el maíz es uno de los componentes presentes en mayor proporción en una dieta balanceada para gallina ponedora. Dentro de los factores que afectan la calidad del grano de maíz están los procesos de secado y factores ambientales tales como la temperatura y la humedad y las prácticas de almacenamiento y transporte (Hernández et al., 2009). Adicionalmente, el maíz puede verse afectado por la presencia de hongos tanto de almacenamiento (por ej. *Aspergillus* spp.) como de campo (principalmente *Fusarium* spp.), los cuales pueden producir sustancias potencialmente tóxicas conocidas como micotoxinas. Dependiendo de la concentración presente en el alimento y el tiempo de exposición, algunas micotoxinas pueden producir efectos adversos sobre la salud y el desempeño productivo en gallinas ponedoras (Díaz, 2020).

Estudios anteriores (ver capítulo 2) han demostrado algunas diferencias en cuanto a composición proximal y contaminación con micotoxinas entre maíces cultivados en Colombia y maíces importados, pero no existen estudios comparativos entre el maíz producido localmente y el importado en cuanto a parámetros zootécnicos en gallinas ponedoras o a calidad del huevo. El objetivo del presente estudio fue el de evaluar el efecto de la utilización de maíz nacional o importado en la elaboración de dietas balanceadas para gallinas ponedoras sobre el desempeño productivo, la calidad del huevo y la composición porcentual de ácidos grasos de los lípidos de la yema.

3.3 Materiales y métodos.

Se utilizaron 80 gallinas de la línea Hy-Line Brown, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente en dos tratamientos, cada uno con 40 repeticiones, siendo la gallina la unidad experimental. Las dietas se suministraron *ad libitum* en primera fase de postura durante 20 semanas (semanas 24 a 43 de edad). Las aves fueron alojadas en jaulas individuales en una sala experimental a una temperatura de 20°C y una densidad de 1.400 cm²/ave. Los tratamientos experimentales consistieron en dos dietas tipo maíz-soya formuladas con maíz nacional o con maíz importado (Tabla 3-15).

Tabla 3-15: Composición de las dietas experimentales.

Ingredientes (%)	Tratamiento maíz	Tratamiento maíz
	nacional	importado
Maíz	56,68	56,68
Torta de soya	18,0	18,0
Soya integral	14,0	14,0
Sal común	0,30	0,30
Carbonato de calcio	9,2	9,2
Fosfato de calcio	1,3	1,3
Bicarbonato	0,04	0,04
PMV*	0,20	0,20
Cloruro de colina	0,07	0,07
Treonina	0,02	0,02
Metionina	0,30	0,30
Composición calculada (%)		
Proteína cruda		18,2
E.M, kcal/kg		2838
Extracto etéreo		5,3
Fibra cruda		2,47
Calcio		4,1
Fósforo total		0,54
Fósforo disponible		0,72
Metionina digestible		0,48
Aminoácidos azufrados		0,60

P.M. V= premezcla mineral y vitamínica. *Contenido por kg: IU: vit. A 800; ICU: vit.D₃ 1300; mg: vit. E 5, vit. K 2 vit. B₁ 0,7, vit. B₂ 3, vit. B₆ 1,5, vit. B₁₂ 7, biotina 0,1, ácido fólico 1, Mn 60, Zn 50, Cu 6, I 1, Se 0,5, Co 1; g: ácido pantoténico 6, niacina 30.

Durante y al final del experimento se determinaron las variables-respuesta que se describen a continuación.

3.3.1 Composición de los maíces y determinación de micotoxinas.

Se realizó análisis proximal al maíz nacional y al importado utilizados en la elaboración de las dietas experimentales. El análisis comprendió la determinación del porcentaje de materia seca (Método 2001.12), de materia mineral (Método 935.12), de proteína bruta (Método 968.06), de extracto etéreo (Método 920.39) y de fibra bruta (Método 962.09), los cuales se realizaron de acuerdo con metodologías descritas por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists International, 2006). Por otro lado, se analizó el porcentaje de ácidos grasos de la grasa del grano mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID). La extracción de los lípidos se realizó por agitación con éter etílico y los ácidos grasos se determinaron como metil-ésteres, de acuerdo con la metodología descrita por Betancourt & Díaz (2009). Adicionalmente, se determinaron las siguientes micotoxinas por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) de acuerdo con normas técnicas colombianas (NTC) o método AOAC: aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 (NTC 1232), zearalenona (ZEA) (NTC 4881), ocratoxina A (NTC 5472), T-2 y HT-2 toxinas (NTC 6027) y deoxinivalenol (DON) (NTC 5961). Fumonisinias B1, B2 y B3 se analizaron por HPLC - espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) de acuerdo con la metodología descrita por Martos et al. (2010).

3.3.2 Indicadores zootécnicos.

Las variables respuesta que se midieron durante y al final del experimento fueron las siguientes: el peso corporal al inicio y al finalizar el estudio, el consumo de alimento (semanal), la producción de huevos (semanal) y el peso del huevo (diario). Se calculó el porcentaje de postura (semanal), la masa de huevo producida (semanal) y la conversión alimenticia (semanal).

3.3.2.1 Peso corporal (g/ave). Se pesaron las gallinas individualmente, con el fin de tener un control de este parámetro y verificar que las gallinas no presentaban diferencias significativas de su peso al inicio del experimento y al final observar si la dieta tuvo algún efecto sobre esta variable.

3.3.2.2 Consumo. Para calcular el consumo de alimento/ave/día, se dividió el consumo semanal de cada ave entre 7 días.

3.3.2.3 Producción de huevo. Se determinó durante toda la fase experimental (20 semanas) con el fin de calcular el porcentaje de postura, el peso del huevo, índice de conversión alimenticia y la masa de huevo, utilizando las siguientes formulas:

3.3.2.4 Porcentaje de postura.

$$\text{Porcentaje de postura} = \frac{\text{Producción total de huevos}}{140} \times 100$$

En donde:

140 = Número de días experimentales

3.3.2.5 Peso del huevo (g). Fue determinado entre las semanas 24 a 43 utilizando una balanza digital con una exactitud de 0,1 g, para cada huevo producido por cada ave.

3.3.2.6 Índice de conversión alimenticia (CA). Se calculó como se muestra en la siguiente ecuación:

$$CA = \frac{\text{kg de alimento consumido}}{\text{kg de huevo producido}} \times 100$$

3.3.2.7 Masa del huevo, fue calculada utilizando la siguiente formula:

$$\text{Masa huevo (kg)} = \frac{\text{Sumatoria del peso de los huevos por unidad de tiempo}}{1000}$$

3.3.3 Parámetros de calidad del huevo.

Las 20 semanas experimentales fueron agrupadas en 5 periodos de 4 semanas cada uno. Los parámetros de calidad del huevo se evaluaron tomando de manera aleatoria 60 huevos por tratamiento. Los parámetros evaluados fueron los siguientes:

3.3.3.1 Peso del huevo. Se tomaron los huevos seleccionados de cada uno de los tratamientos, los cuales fueron pesados individualmente en una balanza analítica con una exactitud de 0,1 g.

3.3.3.2 Resistencia a la ruptura de la cáscara. Se determinó sobre la línea ecuatorial del huevo por medio de un penetrómetro de Bertuzzi, el cual registró en libras de presión la fuerza requerida para romper la cáscara.

3.3.3.3 Color de la yema. Se realizó una comparación del color de la yema, utilizando el método del abanico colorimétrico desarrollado por la compañía Roche (en la actualidad DSM), el cual cuenta con una escala relativa de color de yema con valores entre 1 y 15.

3.3.3.4 Unidades Haugh. Para esta variable se realizó un muestreo a la semana 20, tomando un total de 30 huevos por cada tratamiento. Las unidades Haugh se calcularon relacionando la altura de la albúmina, expresada logarítmicamente y corregida con el peso del huevo según la fórmula sugerida por Dudusola (2010):

$$\text{Unidades Haugh} = 100 \log \left(H - \frac{G^{0,5} (30 W^{0,37} - 100)}{100} + 1,9 \right)$$

En donde:

H = altura de la albúmina (en cm)

G = 32.2

W = peso del huevo (en g)

3.3.3.5 Manchas de sangre y de carne. Al final del experimento se colectaron 30 huevos de cada tratamiento, para determinar la posible presencia de manchas de sangre o de carne en la yema. En caso de presentarlas, se registró el número de manchas por huevo.

3.3.4 Determinación del perfil de ácidos grasos de la yema del huevo.

Este análisis se realizó una vez por periodo de 4 semanas, en los tres últimos periodos del experimento a 40 muestras, 20 por cada tratamiento (n=60). La extracción de los lípidos se realizó de acuerdo con el método descrito por Folch et al. (1957) y los ácidos grasos se determinaron como metil-ésteres por GC-FID de acuerdo con la metodología descrita por Betancourt & Díaz (2009).

3.4 Análisis estadístico.

La unidad experimental fue la gallina y para el análisis estadístico se utilizó el modelo completamente al azar que se describe con la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = variable respuesta de la j-ésima repetición que recibió la procedencia nacional o importado.

μ = Promedio poblacional

α_i = Efecto de la procedencia nacional o importado $i=1,2$.

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la observación Y_{ij} con $i=1,2$ y $j=1,\dots,40$

La normalidad de los residuos se determinó con la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Para variables sin homogeneidad de varianza se realizaron pruebas de estadística no paramétrica. Para decidir sobre las hipótesis se utilizó un nivel de significancia del 0,05. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa STATISTIX versión 9.

3.5 Resultados.

La Tabla 3-16 resume los resultados del análisis proximal, el porcentaje de ácidos grasos del aceite y el contenido de micotoxinas de los maíces nacional e importado utilizados en las dietas experimentales. El maíz nacional tuvo un mayor valor de materia seca al compararlo con el maíz importado (87,7% vs. 85,5%, respectivamente); sin embargo, el contenido de proteína del maíz importado fue 0,7% mayor comparado con el del nacional

(8,4% vs. 7,1%, respectivamente). El extracto etéreo fue 1,2% mayor en el maíz nacional que en el importado (4,5% vs. 3,2%, respectivamente), mientras que el contenido de cenizas difirió en apenas 0,2% (0,7% vs. 0,9%, respectivamente). El contenido de fibra cruda fue un 64% mayor en el maíz nacional comparado con el importado (1,8% vs. 1,1%, respectivamente). En cuanto a la composición de ácidos grasos se observó gran similitud entre los dos tipos de maíz, con un alto porcentaje (~56%) de ácido linoleico (C18:2 n-6), seguido de los ácidos oleico (~27%) y palmítico (~12%) y cantidades bajas de los ácidos esteárico ($\leq 2,0\%$) y α -linolénico ($\leq 1,12\%$).

Tabla 3-16: Análisis proximal, perfil de ácidos grasos y contenido de micotoxinas en los maíces nacional e importado empleados en las dietas experimentales.

Variables	Nacional	Importado
Análisis proximal (%)		
Materia seca	87,7	85,5
Proteína	7,1	8,4
Extracto etéreo	4,5	3,2
Cenizas	0,7	0,9
Fibra bruta	1,8	1,1
Ácidos grasos (%)		
C16:0 (palmítico)	11,5	12,6
C18:0 (esteárico)	1,7	2,0
C18:1 n-9c (oleico)	27,0	26,9
C18:2 n-6c (linoleico)	56,8	55,8
C18:3, n-3 (α -linolénico)	1,12	1,01
Micotoxinas ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
Aflatoxinas B1, B2, G1, G2	-	-
Ocratoxina A	-	-
Deoxinivalenol	-	484
Zearalenona	-	40
Toxinas T-2 y HT-2	-	-
Fumonisinias totales	1048	500

En cuanto al contenido de micotoxinas, ninguno de los maíces presentó contaminación por micotoxinas producidas por hongos del género *Aspergillus* spp (aflatoxinas, ocratoxina A). Sin embargo, los dos tipos de maíz presentaron contaminación con fusariotoxinas (micotoxinas de *Fusarium* spp.). En el maíz importado se encontraron zearalenona y deoxinivalenol a niveles de 40,3 µg/kg y 484 µg/kg, respectivamente; estas micotoxinas no se encontraron en el maíz nacional. Por otro lado, ambos maíces presentaron contaminación con fumonisinas (FB1, FB2 y FB3), con concentraciones de fumonisinas totales de 1048 µg/kg para el maíz nacional y 500 µg/kg para el maíz importado. No se encontraron niveles detectables de las toxinas T-2 o HT-2 en ninguno de los dos maíces.

3.5.1 Resultados zootécnicos.

Para efectos del análisis de la información recolectada, los resultados zootécnicos fueron agrupados en 5 periodos de 4 semanas cada uno. La Tabla 3-17 muestra los pesos promedio de las aves al inicio y al final del experimento, mientras que la Tabla 3-18 resume los resultados de los parámetros zootécnicos evaluados (consumo de alimento, peso de huevo, producción de huevos, porcentaje de postura, masa de huevo y conversión). La Tabla 3-19 resume los resultados de las 20 semanas de experimentación.

Tabla 3-17: Peso inicial y final de gallinas de postura alimentadas con dietas maíz-soya elaboradas con maíz nacional o importado.

	Peso inicial (g) (semana 24 de edad)	Peso final (g) (semana 43 de edad)
Nacional	1834 ± 17	2261 ± 28
Importado	1794 ± 17	2185 ± 28
P	0,10	0,06

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 40 observaciones por tratamiento.

No se presentaron diferencias significativas en el peso corporal promedio de las aves al inicio o al final del experimento (Tabla 3-17); sin embargo, al final del experimento el peso promedio de las aves que recibieron maíz nacional fue 6% mayor comparado con las que consumieron maíz importado (2261 vs. 2185, respectivamente).

Tabla 3-18: Parámetros zootécnicos de gallinas ponedoras alimentadas con dietas elaboradas con maíz nacional o importado durante las semanas 24 a 43 de edad (20 semanas).

Parámetro zootécnico					
	Semanas 24 - 27	Semanas 28 - 31	Semanas 32 - 35	Semanas 36 - 39	Semanas 40 - 43
Consumo de alimento (g/ave/día)					
Nacional	114 ± 1,3 ^a	118 ± 0,9 ^a	116 ± 1,7 ^a	113 ± 1,0 ^a	111 ± 1,8 ^b
Importado	111 ± 0,6 ^a	115 ± 1,3 ^a	113 ± 1,6 ^a	115 ± 0,7 ^a	115 ± 0,7 ^a
P	0,178	0,376	0,250	0,133	0,097
Peso huevo (g)					
Nacional	59,1 ± 0,7 ^a	60,6 ± 0,5 ^a	61,6 ± 0,6 ^a	62,6 ± 0,7 ^a	63,3 ± 0,7 ^a
Importado	58,1 ± 0,2 ^a	58,9 ± 0,5 ^b	60,1 ± 0,5 ^a	61,0 ± 0,5 ^a	61,6 ± 0,6 ^a
P	0,203	0,025	0,101	0,069	0,077
Producción de huevos por cada periodo de 28 días					
Nacional	27,3 ± 0,2 ^a	27,3 ± 0,2 ^a	26,9 ± 0,2 ^a	26,8 ± 0,2 ^a	26,4 ± 0,2 ^a
Importado	27,6 ± 0,1 ^a	27,5 ± 0,1 ^a	26,8 ± 0,2 ^a	27,1 ± 0,1 ^a	26,8 ± 0,2 ^a
P	0,083	0,539	0,752	0,395	0,107
Porcentaje de producción de huevos					
Nacional	97,3 ± 0,6 ^a	97,7 ± 0,6 ^a	95,9 ± 0,8 ^a	95,6 ± 0,9 ^a	94,3 ± 0,7 ^a
Importado	98,4 ± 0,4 ^a	98,1 ± 0,4 ^a	96,0 ± 0,9 ^a	96,7 ± 0,3 ^a	95,0 ± 0,6 ^a
P	0,124	0,540	0,941	0,261	0,108
Promedio masa de huevo (kg/ave)					
Nacional	1,60 ± 0,02 ^a	1,65 ± 0,02 ^a	1,66 ± 0,02 ^a	1,68 0,02 ^a	1,67 ± 0,02 ^a
Importado	1,59 ± 0,01 ^a	1,61 ± 0,01 ^b	1,63 ± 0,02 ^a	1,64 0,01 ^a	1,64 ± 0,02 ^a
P	0,639	0,012	0,187	0,124	0,435
Conversión (kg de alimento consumido/kg de huevo producido)					
Nacional	2,00 ± 0,02 ^a	2,01 ± 0,02 ^a	1,97 ± 0,04 ^a	1,89 ± 0,01 ^a	1,88 ± 0,04 ^a
Importado	1,98 ± 0,02 ^a	2,01 ± 0,03 ^a	1,96 ± 0,03 ^a	1,96 ± 0,01 ^b	1,97 ± 0,03 ^a
P	0,418	0,881	0,841	0,002	0,062

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 40 observaciones por tratamiento. En la misma columna para cada variable promedios con letras iguales no difieren entre sí (P<0,05).

Tabla 3-19: Parámetros zootécnicos de las 20 semanas de experimentación (24 a 43 de edad) en gallinas de postura alimentadas con dietas maíz-soya elaboradas con maíz nacional o importado.

Semanas 24 - 43			
	Nacional	Importado	P
Consumo de alimento (kg/ave)	16,1 ± 0,1 ^a	16,0 ± 0,1 ^a	0,597
Masa de huevo (kg/ave)	8,26 ± 0,08 ^a	8,10 ± 0,06 ^a	0,149
Conversión (kg alimento/kg huevo)	1,95 ± 0,02 ^a	1,97 ± 0,02 ^a	0,347
Peso de huevo (g)	61,4 ± 0,6 ^a	59,9 ± 0,5 ^a	0,062
Porcentaje de producción	96,2 ± 0,5 ^a	97,0 ± 0,3 ^a	0,159
Número de huevos por ave	135 ± 0,7 ^a	136 ± 0,4 ^a	0,225

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 40 observaciones por tratamiento. En una misma fila promedios con letras iguales no difieren entre sí (P<0,05).

No se observaron diferencias significativas (P>0,5) en el consumo de alimento, producción de huevos, porcentaje de postura o producción de masa de huevo en ninguno de los 5 períodos experimentales evaluados (Tabla 3-18). Sin embargo, el peso del huevo fue significativamente mayor (P=0,025) en las semanas 28-31 en el tratamiento que recibió el maíz nacional comparado con el que recibió el maíz importado (60,6 vs. 58,9 g, respectivamente); asimismo, el promedio de masa de huevo (kg/ave) presentó diferencias significativas en las mismas semanas (P=0,012) con valores de 1,65 y 1,61 para los tratamientos con maíz nacional e importado, respectivamente. La conversión alimenticia presentó diferencias significativas (P<0,05) solamente en el período comprendido entre las semanas de 36-39, siendo inferior en las aves alimentadas con la dieta con maíz nacional (1,89 vs. 1,96).

Al agrupar las 20 semanas de experimentación (Tabla 3-19), el peso promedio del huevo fue de 61,4 g y 59,9 g para el tratamiento con maíz nacional e importado, y la masa de huevo de 8,26 kg/ave vs. 8,10 kg/ave, para los mismos tratamientos, respectivamente. Por otra parte, el porcentaje de producción fue 0,8% mayor en las aves que recibieron maíz importado comparadas con las que recibieron el nacional (97,0% vs. 96,2%, respectivamente).

La conversión acumulada de las 20 semanas de experimentación mostró un valor ligeramente mejor para las aves que consumieron el maíz nacional (1,95 vs. 1,97), aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Por otro lado, la diferencia numérica del porcentaje de producción se vio reflejada en el número de huevos producidos por ave; las aves alimentadas con maíz nacional y maíz importado produjeron durante las 20 semanas de experimentación 135 vs. 136 huevos, respectivamente.

3.5.2 Calidad del huevo.

La resistencia a la ruptura de la cáscara y el color de la yema se determinaron a un total de 600 huevos recolectados a las semanas 4, 8, 12, 16 y 20 de experimentación (Tabla 3-20). Las unidades Haugh se determinaron únicamente a 30 huevos por tratamiento y sólo en la semana 20 (Tabla 3-20). El contenido de manchas de sangre y carne se analizó a 30 huevos de cada tratamiento al final de experimento (Tabla 3-21).

El color de la yema mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) en los huevos recolectados en las semanas 4, 12 y 20 de experimentación. En la semana 4 presentó valores en el maíz nacional e importado de 7,8 vs. 7,5, respectivamente. En la semana 12 los valores promedio fueron de 5,7 vs. 4,7 en las aves que consumieron maíz nacional o importado, respectivamente. Por otra parte, en la semana 20 se observó una diferencia significativa ($P < 0,05$) a favor del tratamiento con maíz importado con valores de 5,9 vs. 6,4, respectivamente. La resistencia a la ruptura de la cáscara no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se observa numéricamente en los huevos recolectados en las semanas 4, 12 y 16 un mayor valor de resistencia a la ruptura de la cáscara en los huevos de las gallinas alimentadas con maíz nacional en comparación con las que recibieron maíz importado (3969 lbp vs. 3753 lbp; 4223 lbp vs. 4041 lbp y 3978 lbp vs. 3898 lbp, respectivamente). Los huevos colectados en las semanas 8 y 20 mostraron un valor numérico mayor en las aves que recibieron maíz importado que en las aves alimentadas con la dieta con maíz nacional (4164 vs. 4348 y 3389 vs. 3444, respectivamente). Las unidades Haugh medidas en huevos colectados en la semana 20 de experimentación presentaron un valor significativamente mayor ($P < 0,05$) en las aves alimentadas con maíz nacional (106 vs. 102).

Tabla 3-20: Color de yema, resistencia a la ruptura de la cáscara y unidades Haugh de huevos de gallinas ponedoras alimentadas con dietas elaboradas con maíz nacional o importado.

Calidad del huevo			
Color de la yema			
Semana	Maíz nacional	Maíz importado	P
4	7,8 ± 0,0 ^a	7,5 ± 0,1 ^b	0,001
8	4,8 ± 0,2 ^a	4,6 ± 0,1 ^a	0,326
12	5,7 ± 0,3 ^a	4,7 ± 0,1 ^b	0,006
16	4,4 ± 0,0 ^a	4,5 ± 0,1 ^a	0,446
20	5,9 ± 0,1 ^b	6,4 ± 0,1 ^a	0,008
Resistencia a la ruptura de la cáscara Kgf			
4	3,97 ± 0,10 ^a	3,75 ± 0,08 ^a	0,128
8	4,16 ± 0,08 ^a	4,32 ± 0,09 ^a	0,225
12	4,22 ± 0,14 ^a	4,04 ± 0,11 ^a	0,340
16	3,98 ± 0,06 ^a	3,90 ± 0,09 ^a	0,492
20	3,39 ± 0,09 ^a	3,44 ± 0,12 ^a	0,741
Unidades Haugh			
20	106 ± 0,90 ^a	102 ± 0,94 ^b	0,002

Excepto para las unidades Haugh (30 observaciones por tratamiento), los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 300 observaciones por tratamiento. En una misma fila los promedios con letras iguales no difieren significativamente (P<0,05).

Tabla 3-21: Manchas presentes en yema o albúmen de gallinas ponedoras alimentadas con dietas elaboradas con maíces nacionales o importados (n = 30 por tratamiento).

	Con manchas	Sin manchas
Maíz nacional	5	25
Maíz importado	7	23
P	0,519	

En cuanto a las manchas presentes en la yema o en el albumen (Tabla 3-21), no se presentaron diferencias significativas. Una ligera diferencia numérica se presentó en el número de manchas de sangre y carne en los huevos de las aves que recibieron maíz nacional e importado (25 vs. 23, respectivamente).

3.5.1.1 Perfil de los ácidos grasos de la yema.

La Tabla 3-22 muestra el perfil de ácidos grasos de yemas de huevos de gallinas ponedoras alimentadas con maíz nacional e importado. Los análisis fueron realizados a huevos recolectados en las semanas 12, 16 y 20 de experimentación. En general, la composición porcentual de los ácidos grasos fue muy similar en la grasa extraída de los huevos provenientes de los dos tratamientos; sin embargo, diferencias leves pero significativas ($<0,05$) se presentaron en algunos ácidos grasos. En los huevos recolectados durante la semana 12 se presentaron diferencias significativas en los tratamientos maíz nacional e importado para los ácidos mirístico (0,28 vs. 0,30%), oleico (38,9 vs. 37,8%), linolénico (0,74 vs. 0,83%) y docosapentaenoico (0,32 vs 0,26%); el porcentaje de ácidos grasos n-3 también difirió significativamente (1,84 vs. 1,96%), mas no el cociente n-6/n-3. En la semana 16 solamente se presentaron diferencias significativas entre los ácidos linolénico (0,71 vs. 0,81%) y docosapentaenoico (0,44 vs. 0,30%), y de nuevo hubo una diferencia significativa en el contenido de n-3 (1,92 vs. 2,08%). Adicionalmente se presentó una diferencia significativa en el cociente n-6/n-3 (11,4 vs. 10,6%). En la semana 20 solamente difirieron de manera significativa el ácido linolénico (0,74 vs. 0,91%) y docosapentaenoico (0,40 vs. 0,32%), los cuales fueron los únicos que presentaron diferencias en los tres muestreos realizados.

Tabla 3-22: Composición porcentual de ácidos grasos en yemas de huevo de gallinas ponedoras alimentadas con dietas elaboradas con maíz nacional o importado (semanas 12, 16 y 20 de experimentación).

Ácidos grasos	Semana 12			Semana 16			Semana 20		
	Maíz nacional	Maíz importado	P	Maíz nacional	Maíz importado	P	Maíz nacional	Maíz importado	P
C14:0 (mirístico)	0,28 ± 0,01 ^b	0,30 ± 0,00 ^a	0,012	0,32 ± 0,01 ^a	0,31 ± 0,01 ^a	0,760	0,30 ± 0,01 ^a	0,31 ± 0,02 ^a	0,594
C16:0 (palmítico)	24,9 ± 0,20 ^a	24,9 ± 0,19 ^a	0,848	24,4 ± 0,21 ^a	23,9 ± 0,26 ^a	0,192	24,2 ± 0,41 ^a	24,8 ± 1,29 ^a	0,681
C16:1 (palmitoleico)	2,18 ± 0,05 ^a	2,30 ± 0,06 ^a	0,144	2,38 ± 0,07 ^a	2,49 ± 0,06 ^a	0,245	2,24 ± 0,25 ^a	2,57 ± 0,13 ^a	0,257
C18:0 (esteárico)	7,69 ± 0,09 ^a	7,70 ± 0,07 ^a	0,972	8,07 ± 0,07 ^a	8,08 ± 0,09 ^a	0,903	7,78 ± 0,08 ^a	8,30 ± 0,41 ^a	0,239
C18:1 n-9c (oleico)	38,9 ± 0,44 ^a	37,8 ± 0,33 ^b	0,048	38,7 ± 0,42 ^a	38,4 ± 0,39 ^a	0,629	39,2 ± 0,54 ^a	35,2 ± 3,24 ^a	0,245
C18:2 n-6c (linoleico)	19,9 ± 0,36 ^a	20,7 ± 0,35 ^a	0,133	19,4 ± 0,40 ^a	19,7 ± 0,38 ^a	0,552	19,3 ± 0,34 ^a	21,5 ± 1,16 ^a	0,099
C18:3 n-3 (α-linolénico)	0,74 ± 0,02 ^b	0,83 ± 0,02 ^a	0,004	0,71 ± 0,03 ^b	0,81 ± 0,02 ^a	0,006	0,74 ± 0,03 ^b	0,91 ± 0,05 ^a	0,006
C20:4 n-6 (araquidónico)	1,90 ± 0,03 ^a	1,92 ± 0,04 ^a	0,674	2,09 ± 0,03 ^a	2,10 ± 0,04 ^a	0,898	2,05 ± 0,04 ^a	2,15 ± 0,11 ^a	0,425
C22:5 n-6 (docosapentaenoico)	0,32 ± 0,02 ^a	0,26 ± 0,01 ^b	0,010	0,44 ± 0,06 ^a	0,30 ± 0,02 ^b	0,038	0,40 ± 0,03 ^a	0,32 ± 0,02 ^b	0,021
C22:6 n-3 (docosahexaenoico)	1,10 ± 0,03 ^a	1,13 ± 0,02 ^a	0,353	1,21 ± 0,03 ^a	1,27 ± 0,03 ^a	0,138	1,22 ± 0,04 ^a	1,33 ± 0,07 ^a	0,205
SFAS	32,9 ± 0,19 ^a	32,6 ± 0,21 ^a	0,749	32,8 ± 0,19 ^a	32,3 ± 0,24 ^a	0,165	32,3 ± 0,41 ^a	33,4 ± 1,69 ^a	0,534
MUFAS	41,1 ± 0,42 ^a	40,1 ± 0,34 ^b	0,098	41,1 ± 0,43 ^a	40,9 ± 0,44 ^a	0,835	41,4 ± 0,50 ^a	37,8 ± 3,05 ^a	0,276
PUFAS	24,0 ± 0,34 ^a	24,8 ± 0,36 ^a	0,201	23,8 ± 0,48 ^a	24,2 ± 0,42 ^a	0,878	23,7 ± 0,44 ^a	26,2 ± 1,37 ^a	0,153
n-6	22,1 ± 0,34 ^a	22,9 ± 0,35 ^a	0,273	21,9 ± 0,45 ^a	22,1 ± 0,41 ^a	0,948	21,8 ± 0,39 ^a	24,0 ± 1,26 ^a	0,163
n-3	1,84 ± 0,02 ^b	1,96 ± 0,03 ^a	0,005	1,92 ± 0,05 ^b	2,08 ± 0,03 ^a	0,027	1,96 ± 0,06 ^b	2,24 ± 0,12 ^a	0,077
n-6/n-3	12,0 ± 0,25 ^a	11,7 ± 0,13 ^a	0,240	11,4 ± 0,15 ^b	10,6 ± 0,17 ^a	0,004	11,0 ± 0,20 ^a	10,7 ± 0,22 ^a	0,345

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 10 observaciones por tratamiento. En una misma fila los promedios con letras iguales no difieren significativamente (P<0,05). SFAS: ácidos grasos saturados; MUFAS: ácidos grasos monoinsaturados; PUFAS: ácidos grasos poliinsaturados; n-6: omega 6; n-3: omega 3; n-6/n-3: cociente-6/n-3.

3.6 Discusión.

Los resultados del presente estudio indican que no existen diferencias importantes en parámetros productivos o de calidad de huevo al utilizar maíz cultivado en Colombia o procedente de los Estados Unidos (grado US2 o menor). Sin embargo, la conversión alimenticia, un parámetro muy importante en términos económicos, presentó diferencias significativas a favor del maíz nacional en las semanas 36 a 39 y casi significativas ($P=0,06$) en las semanas 40-43. La mejor conversión alimenticia obtenida con el maíz nacional podría estar relacionada al mayor contenido de extracto etéreo del maíz nacional comparado con el importado. Otra posible explicación puede ser el diferente contenido de micotoxinas de los maíces evaluados que puede estar relacionado con un mayor crecimiento de especies de *Fusarium* durante el crecimiento de la planta. La inclusión del maíz importado (que contenía 484 ppb de deoxinivalenol) en un porcentaje del 56.68% en la dieta resulta en niveles de DON en el alimento de 274 ppb. En ponedoras el suministro de dietas “trigo-soya” contaminadas con 350-700 ppb de DON durante 10 semanas no afectó la ganancia de peso, el consumo de alimento, la eficiencia alimenticia, la producción de huevos la altura de la clara, la gravedad específica o la resistencia de la cáscara (Hamilton et al., 1981a, b). La baja toxicidad del DON en pollos o en gallinas se atribuye a su baja absorción oral y rápida biotransformación intestinal al metabolito no tóxico deepoxi-DON (DOM-1) (Diaz, 2020). Sin embargo, un hallazgo interesante del presente estudio fue la tendencia a observar un mayor peso del huevo en las aves que recibieron maíz nacional frente al importado (61,4 vs. 59,9, $P=0,06$). En los estudios anteriormente citados (Hamilton et al., 1981a, b) se observó disminución en el peso del huevo proporcional al nivel de DON en la dieta (350-700 ppb), así como disminución en el peso y grosor de la cáscara. Infortunadamente en el presente estudio no se determinaron ni el peso ni el grosor de la cáscara. Los niveles de zearalenona encontrados en el maíz importado (40 ppb) tampoco representan un riesgo para las aves. En aves ponedoras de 30 semanas de edad que recibieron ZEA pura en la dieta a concentraciones de 0, 10, 25, 50, 100, 200,400 y 800 ppm, durante 8 semanas no se observaron efectos sobre el consumo de alimento, peso corporal, producción de huevos, unidades Haugh o grosor de la cáscara (Allen et al., 1981b). Aunque las concentraciones de fusariotoxinas encontradas en el maíz importado no deberían ocasionar efectos adversos sobre el desempeño de las aves, la presencia de estas podría estar asociada a un mayor deterioro del grano, ya que los hongos utilizan los nutrientes del grano como fuente de energía (Christensen y Kaufman, 1965).

La calidad del huevo puede verse afectada por factores tales como la estirpe de ave, la alimentación, el manejo y la edad del ave, entre otros (García et al., 2016). El color de la yema está determinado por el contenido y capacidad de transferencia de carotenoides del alimento al oocito en formación; a su vez, el grado de transferencia depende de la liposolubilidad particular de cada compuesto (Karunajeewa et al., 1984; Phillip et al., 1976). Los principales carotenoides del maíz son la zeaxantina y la luteína y la cantidad presente en el grano parece depender del origen del maíz. Estudios actualmente en desarrollo sugieren que los maíces procedentes de zonas templadas (hemisferio norte y sur) tienden a presentar un mayor contenido de luteína que los producidos en la zona tropical; por su parte, aquellos producidos en el trópico tienden a presentar un mayor contenido de zeaxantina. Las diferencias en contenido de carotenoides de los maíces nacionales frente a los importados podrían explicar las diferencias en la pigmentación de la yema observadas en el presente estudio.

El parámetro conocido como “unidades Haugh” (UH) es un parámetro utilizado para estimar la calidad de la proteína del huevo. Los valores promedio obtenidos en el presente estudio se clasifican como “excelente” en ambos grupos experimentales, puesto que correspondieron a valores superiores a 90 UH (Arrué, 2018). Los altos valores de UH observados en el presente experimento, están relacionados con la edad de las aves ya que los huevos producidos por gallinas jóvenes normalmente presentan valores más altos comparados con aquellos provenientes de gallinas más viejas, independientemente de la dieta. Esto se atribuye al hecho de que las gallinas jóvenes son más eficientes en la deposición de proteínas del albumen y en la formación de puentes disulfuro que unen las proteínas entre sí (Duarte de Oliveira, 2008). A pesar de que los valores de UH fueron “excelentes” en ambos tratamientos, se registró una diferencia significativa ($P=0,002$) en los valores obtenidos cuando se incluyó maíz nacional e importado (106 vs. 102 UH, respectivamente). Esta diferencia, sin embargo, no tiene hasta ahora una explicación razonable. En un estudio en el que se evaluaron cuatro variedades de maíz (una línea genética única, uno con un gen de resistencia a lepidópteros -TC1507- y dos maíces convencionales denominados 1 y 2) en dietas para ponedoras no fue posible establecer una explicación para las diferencias ($P<0,001$) en UH encontradas en los diferentes tratamientos (75,1; 74,8; 75,3 y 69,8, respectivamente) (Scheideler et al., 2008); en este estudio las dietas fueron suministradas durante 16 semanas y contenían un 60% de maíz.

En el presente estudio no se observaron diferencias significativas en la resistencia a la ruptura de la cáscara entre los dos tratamientos experimentales. La resistencia a la ruptura puede verse afectada cuando la dieta es rica en lípidos, ya que estos pueden formar sales insolubles con el calcio en el intestino delgado disminuyendo la absorción de calcio (Magalhães et al., 2010). Las dietas utilizadas en el presente estudio tenían un contenido similar de lípidos y calcio de manera que no generaron diferencias en esta variable. En cuanto a la presencia de manchas de sangre en el huevo, se ha establecido que su formación se debe a hemorragias en el espacio entre la pared folicular y la membrana vitelina antes de la ovulación; estas manchas varían desde apenas distinguibles en la superficie de la yema hasta contaminación de la sangre por toda la yema (Nalbandov & Card, 1944). La aparición de “manchas de carne” se debe a manchas de sangre parcialmente descompuestas u oxidadas, pequeños trozos de ovario o tejido de oviducto o restos de cutículas que se han barrido hasta el magnum y se han incluido en el contenido de albúmina (Barroeta, 2002). En el presente estudio no se encontraron diferencias en la presencia de manchas de sangre o de carne en los huevos producidos por las aves alimentadas con maíz nacional o importado.

En contraste con las variables de desempeño y de calidad del huevo, diferencias significativas se observaron en el contenido porcentual de algunos ácidos grasos en la grasa de la yema. La relevancia de algunas de estas diferencias, sin embargo, es difícil de establecer. Por ejemplo, ¿qué implicaciones puede tener que el contenido de ácido mirístico haya sido significativamente mayor ($P=0,012$) en 0,02% cuando se uso maíz importado comparado con el nacional (0,30 vs. 0,28%, respectivamente)? Un hallazgo interesante con relación al perfil de ácidos grasos fue la concentración significativamente mayor ($P<0,05$) en ácido α -linolénico (ALA) de manera consistente en los huevos de las aves alimentadas con maíz importado (0,83 vs. 0,74; 0,81 vs. 0,71 y 0,91 vs. 0,74% para los muestreos realizados en las semanas 12, 16 y 20, respectivamente). Los mayores valores de ALA se correlacionaron con mayores valores de DHA en los mismos huevos, lo cual está relacionado con los procesos bioquímicos de elongación y desaturación de ALA hacia DHA (Aguillón-Páez et al., 2020). Estas diferencias en contenido de ALA y DHA resultaron en mayores contenidos de la sumatoria de ácidos grasos omega-3 y mejores cocientes n-6/n-3 en los huevos de las aves alimentadas con maíz importado comparados con los de las aves alimentadas con maíz nacional, los cuales fueron significativamente diferentes en la semana 16 (11,4 vs. 10,6; respectivamente). Estos cocientes coinciden con los encontrados cuando se utilizan dietas que no tienen ningún enriquecimiento para

mejorar su relación n-6/n-3 (10,5; Aguilón-Páez et al., 2020). Por otra parte, las diferencias en cuanto a composición de ácidos grasos en maíz se pueden atribuir a diferencias en temperatura ambiental durante el desarrollo de las plantas que pueden conducir a estrés ya sea por calor o por frío (Harwood, 1998); incluso cambios leves en el metabolismo de los lípidos pueden llevar a diferentes perfiles tanto en los lípidos como en su composición de ácidos grasos. Adicionalmente, diferencias en la deposición de ácidos grasos en el grano pueden también estar asociadas a la variedad de maíz y del tipo del suelo (Agama et al., 2011).

Los resultados del presente estudio permiten concluir que no se presentan grandes diferencias en parámetros productivos o de calidad del huevo cuando las ponedoras se alimentan con dietas balanceadas con maíz nacional o importado. Variables de calidad del huevo, como el color de la yema presentaron diferencias significativas que no fueron consistentes a favor de uno u otro tipo de maíz. Solo la variable unidades Haugh fue significativamente mayor cuando se usó el maíz nacional, pero en ambos tratamientos los huevos producidos se clasificaron como “excelentes”. La variable peso del huevo mostró una tendencia ($P < 0,1$) a ser mayor con el maíz cultivado en Colombia. Por otro lado, las micotoxinas presentes en el maíz importado (DON y ZEA) que no se hallaron en maíz nacional, no deberían ocasionar efectos adversos en las gallinas a las concentraciones encontradas. Sin embargo, su presencia puede ser un indicador de contaminación con *Fusarium* spp. en campo, lo cual puede afectar la calidad del grano en cuanto a su composición nutricional y posiblemente explicar las tendencias encontradas. Se sugiere la realización de estudios similares, pero de mayor duración, utilizando los dos tipos de maíz durante todo el ciclo productivo de las aves.

Capítulo 4. Efecto del uso de maíz nacional o importado en alimentos balanceados sobre el desempeño productivo en pollos de engorde

4.1 Resumen.

El presente estudio evaluó las posibles diferencias en los parámetros de desempeño productivo en pollos de engorde, utilizando dietas formuladas con maíz producido en Colombia y maíz importado de Estados Unidos. Se utilizaron 320 pollos de la línea Ross 308 AP de un día de edad que se distribuyeron al azar en dos grupos experimentales con 8 repeticiones de 20 aves cada uno. Las dietas experimentales se suministraron del día 1 al 35 de edad y se evaluaron parámetros de desempeño zootécnico incluyendo consumo de alimento, peso corporal, conversión alimenticia, mortalidad y rendimiento de la canal; adicionalmente se determinó la pigmentación de la piel y la composición porcentual de ácidos grasos en la pechuga.

El análisis semanal mostró diferencias en peso corporal a los días 21 y 28 y en la conversión al día 21; estas diferencias, sin embargo, no se reflejaron en los 35 días de experimentación, excepto en la conversión acumulada, la cual, si fue significativamente diferente, favoreciendo al tratamiento con maíz nacional. No se registraron diferencias en el color de la piel del ala o de la pechuga. La medición del rendimiento en canal mostró un mayor rendimiento en pechuga ($P < 0,05$) en los pollos que recibieron la dieta con maíz importado (1,1% mayor), mientras que las otras dos variables de rendimiento en canal (pierna/pernil y grasa) no mostraron diferencias significativas. El perfil de ácidos grasos mostró un mayor porcentaje ($P < 0,05$) de ácido linoleico (C18:2, n-6) en los pollos alimentados con maíz nacional comparados con los que recibieron maíz importado (34,2 vs. 30,5%, respectivamente). En contraste, el contenido porcentual de ácidos grasos monoinsaturados (MUFAS) resultó significativamente mayor ($P < 0,05$) en la grasa de los

pollos que recibieron maíz importado vs. los que recibieron maíz nacional (32,4 vs. 29,5%, respectivamente). Los resultados del presente estudio mostraron algunas diferencias en rendimiento zootécnico y en composición de ácidos grasos que favorece el uso de cualquiera de los dos tipos de maíz en dietas balanceadas para pollos de engorde.

4.2 Introducción.

La carne de pollo es una de las fuentes de proteína de mayor consumo en Colombia y otros países del mundo. La proteína del pollo es rica en lisina (un aminoácido esencial en humanos), baja en ácidos grasos saturados y presenta un contenido total en pechuga sin piel de 21,2 g/100g y en muslo sin piel de 19,3 g/100g (Codony Salcedo et al., 2011). Una característica de la canal de pollo es la deposición de grasa bajo la piel, lo cual no sucede con cortes de carne de otros animales (Martínez Jaikel & Mora Ramírez, 2010). En Colombia, la producción de carne de pollo estimada para 2018 fue de 1.630.000 toneladas con un consumo per cápita aproximado 35,5 kg/año (Fenavi, 2019), duplicando el consumo de carne de bovino para ese mismo año (18,2 kg/per cápita, FEDEGAN, 2020).

El rápido crecimiento de las estirpes actuales de pollo de engorde se basa en selección genética tradicional acompañada de un profundo conocimiento de los requerimientos nutricionales de las aves. La expresión de la genética del ave solo puede lograrse a través del suministro de todos los nutrientes necesarios en su cantidad apropiada. Los alimentos balanceados para aves de engorde pueden elaborarse con diferentes tipos de ingredientes, destacándose dentro de ellos el maíz. Este cereal presenta un alto contenido energético, su aceite es rico en ácido linoleico (único ácido graso esencial en pollos) y contiene pigmentos carotenoides como la luteína y la zeaxantina. Aunque otros granos pueden llenar los requerimientos energéticos del ave, generalmente no proporcionan pigmentos o la suficiente cantidad de ácido linoleico.

Aunque normalmente un grano de maíz no contiene compuestos tóxicos o anti-nutricionales, el maíz es el cereal que presenta mayor riesgo de contaminación con micotoxinas, las cuales pueden producirse tanto en campo como durante el almacenamiento. Dependiendo de la concentración presente en el alimento, las micotoxinas pueden afectar el desempeño productivo y/o la salud de las aves (Díaz, 2020).

La producción de maíz en Colombia es muy baja en comparación con las necesidades del sector de alimentos animales, de manera que el país recurre a la importación de grano. En 2018 Colombia importó 1.524.979 toneladas, ocupando el tercer lugar dentro de los países que importan maíz desde los Estados Unidos. A nivel global los mayores importadores de maíz del mundo son México, Unión Europea y Japón con un promedio entre el año 2015 y 2018 de 15 millones de toneladas. Colombia ocupa el puesto 8º en el mundo con cerca de 5,5 millones de toneladas en 2018 (Fenalce, 2019; Contexto Ganadero, 2019; Portimes, 2018).

Los precios internacionales del maíz favorecen la importación del grano, ya que el maíz producido en Colombia resulta más costoso. Una forma de incentivar el consumo de maíz nacional por parte de la industria avícola es demostrando que posiblemente puede presentar ventajas frente al importado. Sin embargo, no existen estudios comparativos del desempeño de aves de engorde alimentadas con dietas elaboradas con maíces cultivados en Colombia vs. maíces importados. Teniendo en cuenta que se han encontrado diferencias en la composición y el contenido de micotoxinas entre estos dos tipos de maíces (ver capítulo 2), existe la posibilidad de que el desempeño zootécnico de las aves se vea afectado por el tipo de maíz incorporado en la formulación del alimento concentrado. El objetivo del presente estudio fue el de evaluar el efecto de la inclusión de maíz nacional o importado sobre el desempeño productivo en pollos de engorde en un ciclo comercial de 35 días.

4.3 Materiales y métodos.

Se utilizaron 352 pollos de engorde de la línea Ross 308 AP de un día de edad, los cuales fueron recibidos a una temperatura inicial de 32°C y alojados en cubículos en piso con cama de viruta en un área de 1,65 m² con una densidad poblacional de 12 aves/m². Las aves se distribuyeron de manera aleatoria en dos tratamientos, cada uno con 8 réplicas de 22 aves cada una. Los tratamientos experimentales consistieron en dos dietas formuladas con maíz y soya, así: una formulada con maíz nacional y la otra con maíz importado (Tabla 4-23).

Tabla 4-23: Composición de las dietas experimentales.

Ingrediente %	Pre-inicio (7 días)	Inicio (8-21 días)	Finalización (21-35 días)
Maíz (nacional o importado)	51,0	51,9	59,55
Soya extruida	11,7	9,45	6,95
Harina de pescado	3,00	2,00	--
Torta de soya	30,0	30,0	31,25
Aceite vegetal	0,10	2,26	3,18
Carbonato de Calcio	0,92	0,85	0,89
Fosfato bicálcico	1,48	1,41	1,50
Bicarbonato de sodio	0,30	0,30	0,52
Cloruro de colina	0,70	0,90	0,10
Sal común	0,30	0,30	0,31
Premezcla vitamínica*	0,05	0,05	0,05
Premezcla mineral*	0,05	0,05	0,10
Treonina	0,03	0,06	0,03
Lisina	0,10	0,16	0,16
Metionina	0,32	0,32	0,28
Composición calculada %			
Proteína cruda	24,7	23,3	22,1
E.M. kcal/kg	3144	3154	3330
Extracto etéreo	5,25	4,75	4,39
Fibra cruda	2,71	2,61	2,66
Ácido linoleico	1,39	1,43	1,64
Ácido α -linolénico	0,22	0,19	0,15
Calcio	0,96	0,88	0,86
Fósforo total	0,67	0,63	0,61
Fósforo disponible	0,36	0,32	0,30
Lisina digestible	1,51	1,40	1,29
Metionina digestible	0,52	0,85	0,42
Aminoácidos azufrados	0,79	0,73	0,72

*Contenido por kg: Zinc 20.000 mg; Hierro: 8.400 mg; Manganeso: 35.000 mg; cobre: 1.700 mg; iodo: 430 mg; Selenio: 60 mg; vitamina A: 3.440.00UI; vitamina D3: 680.000UI; Vitamina E: 4.000UI; Colina: 172.000 mg; Niacina: 9.000 mg; Pantotenato de calcio: 3.060 mg; Vitamina B2: 1.430 mg; Vitamina B2: 1.430 mg; Vitamina K3: 856 mg; Vitamina B12: 4.6 mg.

Antes, durante y al final del experimento se determinaron las variables que se describen a continuación.

4.3.1 Composición de los maíces y determinación de micotoxinas.

Tanto al maíz nacional como al importado se les realizó análisis proximal y determinación del perfil de ácidos grasos y del contenido de las principales micotoxinas. El análisis proximal comprendió la determinación del porcentaje de materia seca (Método 2001.12), de materia mineral (Método 935.12), de proteína bruta (Método 968.06), de extracto etéreo (Método 920.39) y de fibra bruta (Método 962.09), los cuales se realizaron de acuerdo con metodologías descritas por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists International, 2006). Por otro lado, se determinó el porcentaje de ácidos grasos de la grasa del grano mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID). La extracción de los lípidos se realizó por agitación con éter etílico y la determinación cualitativa de los ácidos grasos por cromatografía de gases con detección por ionización de llama (FID) de acuerdo con la metodología descrita por Betancourt & Díaz (2009). Las siguientes micotoxinas se determinaron por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) de acuerdo con normas técnicas colombianas (NTC) o método AOAC: aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 (NTC 1232), zearalenona (ZEA) (NTC 4881), ocratoxina A (NTC 5472), T-2 y HT-2 toxinas (NTC 6027) y deoxinivalenol (DON) (NTC 5961). Fumonisininas B1, B2 y B3 se analizaron por HPLC - espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) de acuerdo con la metodología descrita por Martos et al. (2010).

4.3.2 Indicadores zootécnicos.

Durante y al final el experimento se midieron las siguientes variables respuesta: el peso corporal (días 7, 14, 21, 28 y 35), el consumo de alimento (semanal), la conversión alimenticia (semanal) y el porcentaje de mortalidad total del experimento. Las variables de desempeño se analizaron utilizando la repetición como unidad experimental.

4.3.2.1 Peso corporal (g/ave).

Se pesaron los pollos individualmente cada semana, con el fin de verificar si la dieta tenía algún efecto sobre esta variable.

4.3.2.2 Consumo.

El consumo de alimento ave/día fue evaluado cada semana, pesando el alimento de cada repetición, dividiendo en el número de aves al final de la semana y luego dividiendo en siete.

$$\text{Consumo de alimento} = \left(\frac{\text{g de alimento consumido en la semana}}{\text{Número de aves en la repetición}} \right) / 7$$

4.3.2.3 Índice de conversión alimenticia (CA).

$$CA = \frac{\text{g de alimento consumido en la semana}}{\text{Ganancia de peso}}$$

4.3.3 Determinación del color en la piel.

La estimación del color de la piel del ala y la pechuga se realizó midiendo el espacio de color CIELAB con un medidor de colorimetría Konica-Minolta CR-400. El espacio de color CIELAB (también conocido como CIE $L^*a^*b^*$, abreviado $L^*a^*b^*$ o LAB) son los colores del espectro visible definidos por la Comisión Internacional sobre Iluminación (CIE) desde 1976 (Manresa González & Vicente, 2007). Este expresa el color como tres valores: L^* para luminosidad desde el negro (0) hasta el blanco (100), a^* desde verde (-) hasta rojo (+) y b^* desde azul (-) hasta amarillo (+).

4.3.4 Rendimiento en canal.

Al finalizar el experimento se sacrificaron 4 aves tomadas al azar de cada repetición (32 por tratamiento) con el fin de determinar fracciones de la canal (pechuga, pierna-pernil) y grasa abdominal. Esto se hizo conforme a lo descrito en la guía de manejo Ross 308 AP de 2017. Todas las fracciones de la canal fueron cortadas por la misma persona del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia.

4.3.5 Determinación del perfil de ácidos grasos del músculo de pollo.

Este análisis se realizó al final del experimento a nueve muestras de músculo pectoral por cada tratamiento. La extracción de lípidos se realizó de acuerdo con el método descrito por Folch et al. (1957) y los ácidos grasos se determinaron como metil-ésteres por cromatografía de gases con detección por ionización de llama (FID) de acuerdo con la metodología descrita por Betancourt & Díaz (2009).

4.4 Análisis estadístico.

Se utilizó el modelo completamente al azar que se describe con la siguiente ecuación, utilizando como unidad experimental la repetición:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable respuesta de la j -ésima repetición que recibió la procedencia nacional o importado.

μ = Promedio poblacional

α_i = Efecto de la procedencia nacional o importado $i=1,2$.

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la observación Y_{ij} con $i=1,2$ y $j=1,\dots,8$

La normalidad de los residuos se investigó con el test de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Para decidir sobre las hipótesis se utilizó un nivel significancia del 0,05. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa STATISTIX versión 9.

4.5 Resultados.

La Tabla 4-24 resume los resultados del análisis proximal, el porcentaje de ácidos grasos del aceite del grano y el contenido de micotoxinas de los maíces nacional e importado utilizados en las dietas experimentales.

Tabla 4-24: Análisis proximal, perfil de ácidos grasos y contenido de micotoxinas en los maíces nacional e importado empleados en las dietas experimentales.

Variables	Nacional	Importado
Análisis proximal (%)		
Materia seca	87,7	85,5
Proteína	7,1	8,4
Extracto etéreo	4,5	3,2
Cenizas	0,7	0,9
Fibra bruta	1,8	1,1
Ácidos grasos (%)		
C16:0 (palmítico)	11,5	12,6
C18:0 (esteárico)	1,7	2,0
C18:1 n-9c (oleico)	27,0	26,9
C18:2 n-6c (linoleico)	56,8	55,8
C18:3, n-3 (α -linolénico)	1,12	1,01
Micotoxinas ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
Aflatoxinas B1, B2, G1, G2	-	-
Ocratoxina A	-	-
Deoxinivalenol	-	484
Zearalenona	-	40
Toxinas T-2 y HT-2	-	-
Fumonisinias totales	1048	500

El maíz nacional tuvo un mayor valor de materia seca al compararlo con el maíz importado (87,7% vs. 85,5%, respectivamente); sin embargo, el contenido de proteína del maíz importado fue 0,7% mayor comparado con el del nacional (8,4% vs. 7,1%, respectivamente). El extracto etéreo fue 1,2% mayor en el maíz nacional que en el importado (4,5% vs. 3,2%, respectivamente), mientras que el contenido de cenizas difirió en apenas 0,2% (0,7% vs. 0,9%, respectivamente). El contenido de fibra cruda fue un 64% mayor en el maíz nacional comparado con el importado (1,8% vs. 1,1%, respectivamente). En cuanto a la composición de ácidos grasos se observó gran similitud entre los dos tipos de maíz, con un alto porcentaje (~56%) de ácido linoleico (C18:2 n-6), seguido de los ácidos oleico (~27%) y palmítico (~12%) y cantidades bajas de los ácidos esteárico ($\leq 2,0\%$) y α -linolénico ($\leq 1,12\%$).

4.5.1 Resultados zootécnicos.

La Tabla 4-25 resume los resultados de los parámetros zootécnicos evaluados. No se presentaron diferencias significativas en el consumo de alimento semanal ni total, sin embargo, el peso corporal difirió significativamente ($P < 0,05$) los días 21 y 28 de edad, con pesos de 1024 vs. 988 g y 1778 vs. 1737 g, para los pollos que recibieron maíz nacional e importado, respectivamente. También al día 21 la conversión difirió significativamente, siendo mayor en las aves que consumieron el maíz importado (1,40 vs. 1,30). Los resultados de los 35 días de experimentación solamente mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en la conversión acumulada la cual fue de 1,37 en las aves que recibieron el maíz nacional vs. 1,42 en las que recibieron el maíz importado. La mortalidad acumulada durante los 35 días de duración del experimento no mostró diferencias significativas.

Tabla 4-25: Parámetros zootécnicos de pollos de engorde alimentados con dietas elaboradas con maíz nacional o importado.

Consumo de alimento promedio (g/día)			
Semana	Nacional	Importado	P
7	25,0 ± 0,18 ^a	24,8 ± 0,16 ^a	0,334
14	59,4 ± 0,56 ^a	58,8 ± 0,39 ^a	0,481
21	93,1 ± 0,58 ^a	93,8 ± 0,64 ^a	0,484
28	133,8 ± 4,20 ^a	141,8 ± 3,97 ^a	0,188
35	178,8 ± 4,40 ^a	179,8 ± 2,40 ^a	0,845
Peso corporal (g) (días de edad)			
7	184 ± 1,20 ^a	182 ± 1,06 ^a	0,188
14	510 ± 6,72 ^a	513 ± 3,78 ^a	0,696
21	1024 ± 7,27 ^a	988 ± 5,87 ^b	<0,001
28	1778 ± 11,5 ^a	1737 ± 8,85 ^b	0,004
35	2552 ± 17,7 ^a	2518 ± 16,8 ^a	0,166
Conversión (g/g) (días de edad)			
7	1,29 ± 0,01 ^a	1,31 ± 0,01 ^a	0,320
14	1,24 ± 0,01 ^a	1,25 ± 0,01 ^a	0,621
21	1,30 ± 0,02 ^b	1,40 ± 0,02 ^a	0,009
28	1,24 ± 0,02 ^a	1,33 ± 0,03 ^a	0,073
35	1,60 ± 0,03 ^a	1,62 ± 0,03 ^a	0,796
Acumulado (35 días)			
Consumo de alimento	3442 ± 52,8 ^a	3509 ± 34,1 ^a	0,307
Ganancia de peso	2511 ± 25,5 ^a	2471 ± 20,5 ^a	0,243
Conversión	1,37 ± 0,01 ^b	1,42 ± 0,01 ^a	0,040
Mortalidad (%)	19 (34/176) ^a	15 (26/176) ^a	0,257

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 8 observaciones por tratamiento.

En una misma fila los promedios con letras iguales no difieren significativamente (P<0,05).

La Tabla 4-26 resume los valores de pigmentación de la piel del ala y la pechuga, de pollos alimentados con maíz nacional e importado. Ninguno de los denominados “espacios de color” ($L^*a^*b^*$) presentó diferencias significativas ($P<0,05$).

Tabla 4-26: Pigmentación de aves alimentadas con maíz nacional e importado (día 35 de edad).

Pigmentación al día 35 de edad			
Ala			
Espacio de color	Nacional	Importado	P
L^*	65,0 ± 0,25 ^a	64,7 ± 0,15 ^a	0,430
a^*	4,67 ± 0,19 ^a	4,39 ± 0,23 ^a	0,259
b^*	2,00 ± 0,21 ^a	2,09 ± 0,28 ^a	0,788
Pechuga			
L^*	61,75 ± 0,46 ^a	61,54 ± 0,37 ^a	0,731
a^*	4,64 ± 0,34 ^a	4,45 ± 0,38 ^a	0,730
b^*	6,63 ± 0,20 ^a	6,71 ± 0,32 ^a	0,852

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 48 observaciones por tratamiento. En una misma fila los promedios con letras iguales no difieren significativamente ($P<0,05$).

Tabla 4-27: Rendimiento en canal de pollos de engorde de 35 días alimentados con dietas elaboradas con maíz nacional o importado.

Rendimiento en canal			
	Nacional	Importado	P
Pechuga (%)	26,8 ± 0,24 ^b	27,9 ± 0,31 ^a	0,009
Pierna/pernil (%)	19,4 ± 0,17 ^a	19,7 ± 0,21 ^a	0,285
Grasa (%)	1,05 ± 0,05 ^a	0,91 ± 0,07 ^a	0,114

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 32 observaciones por tratamiento. En una misma fila los promedios con letras iguales no difieren significativamente ($P<0,05$).

Tabla 4-28 Composición porcentual de ácidos grasos en músculo (pechuga) de pollos alimentados con dietas elaboradas con maíz nacional o importado (día 35 de edad).

Ácido graso	Origen del maíz		P
	Nacional	Importado	
C16:0 palmítico	20,3 ± 0,90 ^a	21,0 ± 0,80 ^a	0,532
C16:1 palmitoleico	1,96 ± 0,19 ^a	2,98 ± 0,57 ^a	0,150
C18:0 esteárico	9,66 ± 0,52 ^a	8,60 ± 0,60 ^a	0,205
C18:1 oleico	25,5 ± 0,77 ^a	27,5 ± 1,57 ^a	0,266
C18:1, n-7 vaccénico	2,08 ± 0,17 ^a	1,88 ± 0,18 ^a	0,435
C18:2, n-6 linoleico	34,2 ± 0,08 ^a	30,5 ± 1,06 ^b	0,012
C18:3, n-3 α-linolénico	3,03 ± 0,42 ^a	2,27 ± 0,19 ^a	0,099
C20:4, n-6 araquidónico	5,84 ± 0,50 ^a	5,17 ± 0,98 ^a	0,586
MUFAS	29,5 ± 0,53 ^a	32,4 ± 1,34 ^b	0,028
PUFAS	43,3 ± 1,29 ^a	37,9 ± 1,11 ^a	0,079
SFAS	29,9 ± 1,21 ^a	29,6 ± 0,89 ^a	0,850
n-6	40,0 ± 1,00 ^a	35,7 ± 0,99 ^b	0,104
n-3	3,03 ± 0,42 ^a	2,22 ± 0,19 ^a	0,100
n-6/n-3	13,2 ± 1,44 ^a	15,7 ± 1,62 ^a	0,248

Los valores corresponden al promedio ± S.E.M. de 9 observaciones por tratamiento. En una misma fila los promedios con letras iguales no difieren significativamente ($P < 0,05$). SFAS: ácidos grasos saturados; MUFAS: ácidos grasos monoinsaturados; PUFAS: ácidos grasos poliinsaturados; n-6: omega 6; n-3: omega 3; n-6/n-3: cociente-6/n-3.

La Tabla 4-27 muestra el rendimiento de canal promedio de los 32 pollos de cada tratamiento seleccionados aleatoriamente al día 35 de edad. El porcentaje de pechuga fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en los pollos que recibieron el maíz importado (27,9 vs. 26,3%, respectivamente), en tanto que los porcentajes de pierna/pernil y de grasa no difirieron significativamente ($P > 0,05$).

La Tabla 4-28 muestra la composición porcentual promedio de los ácidos grasos encontrados en músculo (pechuga) al día 35 de edad. El porcentaje de ácido linoleico (C18:2, n-6) mostró una diferencia significativa ($P < 0,05$) en la grasa de la pechuga, presentando un mayor porcentaje en los pollos alimentados con maíz nacional

comparados con los que recibieron maíz importado (34,2 vs. 30,5%, respectivamente). Esta diferencia se reflejó en el porcentaje total de ácidos grasos n-6 para cada tratamiento (40,0 vs. 35,7%, respectivamente), la cual, sin embargo, no alcanzó a ser estadísticamente significativa ($P=0,104$). Por otra parte, el contenido porcentual de ácidos grasos monoinsaturados (MUFAS) resultó significativamente mayor ($P<0,05$) en la grasa de los pollos que recibieron maíz importado vs. los que recibieron maíz nacional (32,4 vs. 29,5%, respectivamente), lo cual estuvo correlacionado con un mayor contenido de ácidos palmítico (C16:1) y oleico (C18:1) en la grasa de los pollos que consumieron el maíz importado. La relación n-6/n-3 no presentó diferencias significativas; sin embargo, los pollos alimentados con maíz nacional presentaron una relación menor comparada con los pollos que recibieron maíz importado (13,2 vs. 15,7, respectivamente).

4.6 Discusión.

En Colombia, Estados Unidos y otros países los principales requerimientos nutricionales de las estirpes modernas de pollos de engorde se satisfacen con macroingredientes como el maíz y la soya. En el presente estudio se evaluaron parámetros zootécnicos en pollos alimentados con dietas balanceadas que contenían más de un 50% de maíz de producción nacional o importado con el fin de determinar posibles diferencias en el desempeño productivo. El análisis semanal mostró diferencias en peso corporal a los días 21 y 28 y en la conversión al día 21; estas diferencias, sin embargo, no se reflejaron en los 35 días de experimentación, excepto en la conversión acumulada, la cual si fue significativamente diferente, favoreciendo al tratamiento con maíz nacional. Esta diferencia en conversión (0,05 puntos) puede presentar relevancia en términos económicos, siempre y cuando el valor de compra del maíz no presente diferencias grandes. La mayor conversión alimenticia podría estar relacionada con el mayor contenido de extracto etéreo del maíz nacional con relación al importado, la cual, a su vez, podría deberse a pérdida del germen por causa de los granos partidos en el maíz importado (ver capítulo 2). Otra posible explicación puede ser el diferente contenido de micotoxinas en los dos maíces evaluados. Si bien a las concentraciones de micotoxinas encontradas no se deberían observar efectos adversos sobre el desempeño de las aves, la presencia de fusariotoxinas podría estar asociada a un mayor deterioro del grano, ya

que los hongos utilizan sus nutrientes como fuente de energía (Christensen & Kaufman, 1965; Diaz, 2020).

No se registraron diferencias en el color de la piel del ala o de la pechuga en ninguno de los espacios de color reportados por el instrumento de medición (L^* , a^* , b^*). Sin embargo, la magnitud del espacio b^* (tono amarillo) en ambos tratamiento fue muy superior (6,63 y 6,71 para los pollos que recibieron las dietas con maíz nacional e importado, respectivamente) a la reportada en pollos de 35 días alimentados con dietas balanceadas con sorgo y soya, los cuales presentaron valores de b^* en pechuga de -1,462 (Castañeda et al., 2005). Esta diferencia en tonalidad puede deberse al mayor contenido de los carotenoides luteína y zeaxantina que presenta el maíz comparado con el sorgo.

La medición del rendimiento en canal mostró un mayor rendimiento en pechuga ($P < 0,05$) en los pollos que recibieron la dieta con maíz importado (27,9 vs. 26,8%), mientras que las otras dos variables de rendimiento en canal (pierna/pernil y grasa) no mostraron diferencias significativas. De manera interesante se encontró que el rendimiento en pechuga obtenido en el presente ensayo fue muy superior al reportado en un estudio anterior en el que pollos de engorde de 35 días alimentados con dietas maíz-soya tuvieron un rendimiento de apenas 22,2% (Café et al., 2002); en este mismo estudio el porcentaje de grasa abdominal fue de 2,43%, valor que corresponde a más del doble de lo encontrado en el presente ensayo (1,05 y 0,91% para las aves que recibieron las dietas con maíz nacional e importado, respectivamente). Estas diferencias pueden estar relacionadas a las diferentes estirpes de aves utilizadas en estos ensayos o la formulación particular de cada dieta experimental.

El análisis del perfil de ácidos grasos de la grasa de la pechuga mostró un contenido significativamente mayor de ácido linoleico (C18:2, n-6), el cual es el único ácido graso esencial en pollos (Watkins, 1995); este mayor contenido de ácido linoleico se asoció a una mayor concentración de ácido araquidónico (C20:4, n-6) el cual resulta de la elongación y desaturación del C18:2, n-6 (Watkins, 1995) y a su vez a una mayor concentración total de ácidos grasos n-6. No obstante, el cociente n-6/n-3 resultó menor en los pollos que recibieron el alimento con maíz nacional, debido al mayor contenido del único ácido graso n-3 encontrado en la grasa de la pechuga, el ácido α -linolénico (3,03 vs. 2,22%). Esta diferencia en la grasa de la pechuga podría atribuirse al ligeramente

mayor contenido de ácido linolénico del maíz nacional comparado con el importado (1,12 vs. 1,01%). El perfil de ácidos encontrado en pechuga presenta tanto similitudes como diferencias respecto a estudios previos. Por ejemplo, en un estudio comparativo de diferentes especies de mamíferos y pollos de engorde se encontró que el ácido graso predominante en la pechuga de pollo fue el ácido oleico (C18:1) con un porcentaje del 28,1%, seguido del palmítico (C16:0) con 21,8% (Rule et al., 2002); estos valores son similares a los encontrados en el presente estudio (25,5 y 27,5% para el ácido oleico y 20,3 y 21,0% para el ácido palmítico para los pollos que recibieron maíz nacional e importado, respectivamente). Sin embargo, los porcentajes de ácido linoleico (C18:2, n-6) encontrados en el presente estudio (34,2 y 30,5% para los pollos que recibieron maíz nacional e importado, respectivamente) fueron muy superiores a los reportados en el estudio mencionado anteriormente (17,0%; Rule et al., 2002). Esta diferencia puede atribuirse al alto contenido de ácido linoleico del aceite de maíz y al alto nivel de inclusión utilizado en las dietas experimentales (>50%). No obstante, aún con respecto a otras dietas “maíz-soya”, pueden encontrarse diferencias en el perfil de ácidos grasos reportado en otros estudios. En uno de ellos se encontró que pollos de engorde alimentados con una dieta balanceada con maíz y soya mostraban porcentajes en pechuga de 30,9% de ácido palmítico, 34,1% de ácido oleico y 23,9% de linoleico (Betancourt et al., 2005); en este mismo estudio la relación n-6/n-3 en pechuga fue de 29,7. Estas diferencias podrían ser atribuidas a la inclusión de un 5% de aceite de palma en la ración, el cual es rico en ácido palmítico.

En conclusión, los resultados del presente estudio sugieren que se presentan algunas diferencias en rendimiento zootécnico y en composición de ácidos grasos que favorecerían el uso del maíz nacional en dietas balanceadas para pollos de engorde. No obstante, se encontró un mayor porcentaje de pechuga los pollos de engorde alimentados con maíz importado. Estas diferencias, sin embargo, deben ser analizadas en el contexto del precio de compra del grano, el cual presenta generalmente un menor valor para el maíz importado.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los estudios de calidad del grano demostraron que el maíz importado tiende a presentar un mayor contenido de granos quebrados, lo cual puede estar asociado a un mayor deterioro debido al transporte y procesos de carga y descarga.

El maíz importado presentó un menor contenido de materia seca asociado a un menor contenido de extracto etéreo, lo cual coincide con el menor contenido de energía metabolizable aparente encontrado en este maíz comparado con el de producción nacional.

La presencia de semillas de soya en casi las tres cuartas partes de las muestras de maíz importado (71%) puede representar un peligro potencial debido al contenido de inhibidores de proteasas y otros factores antinutricionales en el grano de soya cruda.

El maíz importado presentó fusariotoxinas comunes en Norte América que no fueron detectadas en los maíces de producción nacional y que podría afectar a especies sensibles de animales domésticos como equinos, porcinos, caninos y conejos.

El estudio del efecto de utilizar los maíces nacional e importado en la formulación de dietas para gallinas ponedoras mostró algunas diferencias en parámetros productivos o de calidad del huevo favorables a la utilización del maíz nacional.

La evaluación de maíz nacional e importado en dietas para pollos de engorde mostró diferencias en la conversión acumulada siendo mejor en las aves alimentadas con maíz nacional y un mejor porcentaje de pechuga para las aves que recibieron maíz importado.

5.2 Recomendaciones

Los resultados de la serie de estudios realizados demuestran que existen diferencias en algunas de las variables de calidad evaluadas en los maíces nacionales frente a los importados; algunas de estas diferencias podrían representar una ventaja en el uso del maíz nacional. Sin embargo, resulta indispensable realizar más estudios con el fin de determinar si estos hallazgos se repiten en el tiempo, tanto en lo que tiene que ver con la calidad del grano, como en lo referente al contenido y concentraciones de micotoxinas. Por otro lado, la presencia de semillas de soya en las muestras de maíz importado puede representar un riesgo para la salud y/o productividad de las aves, lo cual sugiere investigar el posible efecto de la inclusión de diferentes niveles soya cruda mediante ensayos *in vivo*. Adicionalmente se recomienda realizar estudios similares a los llevados a cabo, pero de mayor duración y con un mayor número de especies domésticas, incluyendo especies con mayor sensibilidad a las micotoxinas como los porcinos, equinos y mascotas.

6. Bibliografía

Acuña, C., Díaz, G., & Espitia, M. (2005). Aflatoxinas en maíz: Reporte de caso en la costa atlántica colombiana. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 52(II), 156-162.

Agama, E., Juárez, E., Evangelista, S., Rosales, O., & Bello A. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), 01-12.

Agama, E., Salinas, Y., Pacheco, G., & Bello, A. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 317-329.

Aguillón-Páez, Y., Romero, L., & Diaz, G. (2020). Effect of full-fat sunflower or flaxseed seeds dietary inclusion on performance, egg yolk fatty acid profile and egg quality in laying hens. *Animal Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.12.005>

Allen, N., Mirocha, C., Aakhus-Allen, S., Bitgood, J., Weaver, G., & Bates, F. (1981b). Effect of dietary zearalenone on reproduction of chickens. *Poultry Science*, 60(6), 1165-1174.

AOAC. 2006. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analyses. 18th Ed. Gaithersburg MD, USA.

Applegate, T., Schatzmayr, G., Prickett, K., Troche, C., & Jiang, Z. (2009). Effect of aflatoxin culture on intestinal function and nutrient loss in laying hens. *Poultry Science*, 88(6), 1235-1241.

Araméndiz, T., Arias, Y., Castro, D., Marín, N., & López, A. (2005). Caracterización morfológica de maíces criollos. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 28-34.

Arrué T. (2018). Evaluación de un blend nutricional en la calidad del huevo de un sistema intensivo de gallinas de postura. Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Tesis de maestría. Santiago- Chile.

Bacon, C., & Marks, H. (1976). Growth of broilers and quail fed *Fusarium (Gibberella zeae)*-infected corn and zearalenone (F-2). *Poultry science*, 55(4), 1531-1535.

Barroeta, A. (2002). Formación del huevo. Consejo asesor del instituto de estudios del huevo, 45.

Bartov, I., & Bornstein, S. (1967). Studies on Egg Yolk Pigmentation: 3. The Effect of Origin and Storage Conditions of Yellow Corn on the Utilization of its Xanthophyll. *Poultry science*, 46(4), 796-805.

Betancourt, L., Díaz, G., Aguilar, X., & Ríos, J. (2005). Efecto del ensilaje de vísceras de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) sobre el comportamiento productivo y el contenido de ácidos omega-3 en hígado, muslos y pechuga, de pollos de engorde. *Livest Res Rural Develop*, 17(9).

Betancourt, L., & Díaz, G. (2009). Enriquecimiento de huevos con ácidos grasos omega-3 mediante la suplementación con semilla de lino (*Linum usitatissimum*) en la dieta. *Revista MVZ Córdoba*, 14(1), 1602-1610.

Buxadé, C., et al. (2000). La gallina ponedora sistemas de producción y técnicas de producción. Segunda Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. p. 443-444.

Buxadé, C., et al. (1995). Bases de producción animal. Avicultura clásica y complementaria. Tomo V. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. p. 270-271.

Café, M., Borges, C., Fritts, C., & Waldroup, P. (2002). Avizyme improves performance of broilers fed corn-soybean meal-based diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 11(1), 29-33.

Carrillo, W., Carpio, C., Morales, D., Vilcacundo, E., Alvarez, M., & Silva, M. (2017). Content of fatty acids in corn (*Zea mays L.*) oil from Ecuador. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10, 150-153.

Castañeda, M., Hirschler, E., & Sams, A. (2005). Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poultry science*, 84(1), 143-147.

Cázares, E., Chávez, L., Salinas, Y., Castillo, F., & Ramírez, P. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays L.*) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1), 15-30.

Céspedes, A. (1997). Desarrollo y estandarización de tres técnicas analíticas por cromatografía de alta eficiencia (HPLC) y determinación de los niveles de con aflatoxinas, zearalenona y ocratoxina A en materias primas y alimento terminado empleados para la nutrición de aves y cerdos en Colombia. Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Ciencias, Postgrado en Salud y Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia.

CIMMYT. Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo. (2016). Calidad de grano para técnicos postcosecha. Laboratorio de calidad nutricional de maíz. México D.F. Pág 1-10.

Cherian, G. (2008). Egg quality and yolk polyunsaturated fatty acid status in relation to broiler breeder hen age and dietary n-3 oils. *Poultry science*, 87(6), 1131-1137.

Christensen, C., & Kaufmann, H. (1965). Deterioration of stored grains by fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 3(1), 69-84.

Codony Salcedo, R., Guardiola Ibarz, F., & Bou Novensá, R. (2011). Características nutricionales y saludables de la carne de pollo y pavo. Informe Nutricional. Universidad De Barcelona. Instituto de Nutrición y Seguridad Alimentaria.

Codony, R. (2002). Composición y valor nutritivo del huevo. Consejo asesor del instituto de estudios del huevo, 155.

Commission Recommendation (EC) No 576/2006 of 17 August. On the presence of deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin A, T-2 and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding. *Official Journal of the European Union* L 229/7, 23.8.2006.

Comisión Reguladora (CE) No 1881/2006 de 19 Diciembre. Contenidos máximos de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 364/15, 20.12.2006.

CONtexto ganadero. (2019). Colombia es el tercer país que más importa maíz de Estados Unidos. Recuperado de <https://www.contextoganadero.com/internacional/colombia-es-el-3er-pais-que-mas-importa-maiz-de-estados-unidos>

Damianidis, D., Ortiz, B., Windham, G., Bowen, K., Hoogenboom, G., Scully, B., Hagan, A., Knappenberger, T., Woli, P., & Williams, W. (2018). Evaluating a generic drought index as a predictive tool for aflatoxin contamination of corn: From plot to regional level. *Crop protection*, 113, 64-74.

Darrow, M., & Essary, E. (1955). Influence of fats in rations on storage quality of poultry. *Poultry Science*, 34(2), 427-431.

De la Torre-Hernández, M., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E., & Plasencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisin–Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 77-91.

Del Bianchi, M., Oliveira, C., Albuquerque, R., Guerra, J., & Corrêa, B. (2005). Effects of prolonged oral administration of aflatoxin B1 and fumonisin B1 in broiler chickens. *Poultry Science*, 84(12), 1835-1840.

Del Mar Bibiloni, M., Zapata, M., Aragón, J., Pons, A., Olea, J., & Tur, J. (2014). Estimation of antioxidants dietary intake in wet age-related macular degeneration patients. *Nutricion hospitalaria*, 29(4), 880-888.

Diaz, G., & Céspedes, A. (1997). Natural occurrence of zeralenone in feeds and feedstuffs used in poultry and pig nutrition in Colombia. *Mycotoxin Research*, 13(2), 81-87.

Diaz, G., Squires, E., Julian, R., & Boermans, H. (1994). Individual and combined effects of t-2 toxin and das in laying hens. *British poultry science*, 35(3), 393-405.

Diaz, G., Vargas, M., & Cortés, A. (2016). Evaluation of the supplementation of a feed additive as a potential protector against the adverse effects of 2.5 ppm T-2 toxin on growing broiler chickens. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68(3), 709-715.

Diaz, G. (2020). *Toxicología de la micotoxinas y sus efectos en avicultura comercial*. Editorial Acribia. Zaragoza (España).

Duarte de Oliveira, D. (2008). *Fontes de lipídios na dieta de poedeiras: efeito sobre a produção e o perfil de ácidos graxos na gema*. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária. 49 p.

Dudusola, I. (2010). Comparative evaluation of internal and external qualities of eggs from quail and guinea fowl. *International Research Journal of Plant Science*, 1(5), 112-115.

Edwards, H., Marion, J., & Driggers, J. (1962). Studies on fat and fatty acid requirements of poultry. *Proc. 12th World's Poultry Congress*, 182.

El Khoury, A., & Atoui, A. (2010). Ochratoxin A: general overview and actual molecular status. *Toxins*, 2(4), 461-493.

FDA, U. (2001). Guidance for Industry on Fumonisin Levels in Human Foods and Animal Feeds. Dockets Management Branch (HFA-305). Rockville, MD: US Food and Drug Administration.

FEDEGAN (2020) Federación Nacional de Ganaderos. Estadísticas. Recuperado de <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0>

FENALCE. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. (2019). Comunicado de los agricultores nacionales de maíz. Recuperado de <https://www.fenalce.org/alfa/pg.php?pa=60>

FENALCE. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. (2018). Comunicado de los agricultores nacionales de maíz. Recuperado de <http://www.fenalce.org/alfa/pg.php?pa=77>

FENAVI. Federación Nacional de Avicultura de Colombia. (2020). Estadísticas. Recuperado de <https://fenavi.org/informacion-estadistica/>

FENAVI. Federación Nacional de Avicultura de Colombia. (2019). Estadísticas. Recuperado de <https://fenavi.org/informacion-estadistica/>

FENAVI. Federación Nacional de Avicultura de Colombia. (2018). Estadísticas. Recuperado de <https://fenavi.org/informacion-estadistica/>

Folch, J., Lees, M., Stanley, G. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-507.

García, M., Sawers, H., Ruiz, L., Délano, J., & Tiessen, A. (2015). Contenido de carotenoides del grano de maíz híbrido cultivado en invernadero. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria Mexicana*, 3(2), 1-9.

García, M., Colas, M., López, W., Pérez, E., Sánchez, A., Lamazares, M., & Grandía, R. (2016). El peso corporal y su efecto sobre indicadores bioprodutivos en gallinas White Leghorn L33. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 63(3), 188-200.

Guacho, F. (2014). Caracterización agro-morfológica del maíz (*Zea mays L.*) de la localidad San José de Chazo (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Guía de manejo Ross 308 AP. (2017). Objetivos de rendimiento. Aviagen.

Győri, Z. (2017). Corn: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality*, 257.

Hajnal, E., Kos, J., & Mastilović, J. (2013). Presence of T-2 and HT-2 toxins in maize. *Matica Srpska Journal for Natural Sciences*, (124).

Hamilton, R., Thompson, B., & Trenholm, H. (1981a). Feed-intake, egg-production and shell quality of hens given diets that contained vomitoxin contaminated wheat. *Poultry Science*. 60:1666 (resumen).

Hamilton, R., Thompson, B., & Trenholm, H. (1981b). The effect of vomitoxin contaminated wheat on the palatability of laying diets by white leghorn hens. In *Poultry Science*. 60: 1665-1666 (resumen).

Haugh, R. (1937). The Haugh unit for measuring egg quality. *United States egg and poultry magazine*, 43, 522-555.

Harwood, J. (1998). 13 Environmental effects on plant lipid biochemistry. *Plant lipid biosynthesis: fundamentals and agricultural applications*, 305. Cambridge University press.

Hernández, C., Rodríguez, Y., & Niño, Z. (2009). Efecto del almacenamiento de granos de maiz (*Zea mays*) sobre la calidad del aceite extraído. *Información tecnológica*, 20(4), 21-30.

Hernández, N., Reyes, M., González, E., Núñez, C., & Cooper, L. (2015). Importancia de las proteínas de almacenamiento en cereales (prolaminas). *Vertientes Revista Especializada En Ciencias de La Salud*, 18(1), 7.

Karunajeewa, H., Hughes, R., McDonald, M., & Shenstone, F. (1984). A review of factors influencing pigmentation of egg yolks. *World's Poultry Science Journal*, 40(1), 52-65.

Lee, H., & Ryu, D. (2017). Worldwide occurrence of mycotoxins in cereals and cereal-derived food products: public health perspectives of their co-occurrence. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(33), 7034-7051.

Leeson, S., Diaz, G., & Summers, J. (1995). *Poultry metabolic disorders mycotoxins*. University Books, Guelph, Ontario, Canada.

Leeson, S., & Summers, J. (2001). *Scott's. Nutrition of the chicken*. 4rd edition. University Books, Guelph, Ontario, Canada.

Leeson, S., & Summers, J. (2005). Commercial poultry nutrition. 3rd edition. University Books, Guelph, Ontario, Canada.

Magalhães, T., Lima, L., GasparIII, A., & Souza, A. (2010). Teores de ácidos graxos em ovos comerciais convencionais e modificados com ômega-3. Revista Brasileira de Zootecnia, 39(8), 1733-1739.

Manresa González, Ada & Vicente, Ileana. (2007). El color en la industria de los alimentos. Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria.

Martínez Jaikel, T., & Mora Ramírez, D. (2010). Conocimientos y opiniones sobre la carne de pollo de dos comunidades rural-urbana de Costa Rica. Revista Costarricense de Salud Pública, 19(1), 03-11.

Martos P, Thompson W, Diaz G. (2010). Multiresidue mycotoxin analysis in wheat, barley, oats, rye and maize grain by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. World Mycotoxin J, 3(3), 205-223.
<https://doi.org/10.3920/WMJ2010.1212>

Micolucci, V. (2019). Producción mundial de maíz 2019/2020. Food news. Noticias diarias de la industria de alimentos y bebidas América Latina. Recuperado en: <https://www.foodnewlatam.com/paises/89-peru/9203-produccion-mundial-de-maiz-2019-2020.html>

Miller, B., Menge, H., & Denton, C. (1962). A comparison of fatty acid content of skin of chickens and turkeys. Poultry Science, 41(5), 1667.

Ministerio de salud y protección social. (2013). Niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano. Resolución 4506 del 30 de octubre de 2013.

Miranda, S, Quezada, E., Urbina, R., & Carcache, R. (2016). Análisis proximal de granos de arroz, frijol, maíz y café comercializados en el mercado Roberto Huembes de Managua. Universidad y Ciencia, 9(14), 45-51.

Nalbandov, A., & Card, L. (1944). The problem of blood clots and meat spots in chicken eggs. *Poultry Science*, 23(3), 170-180.

Norma Técnica Colombiana. NTC 535-1. 2014. Alimento para animales maíz. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Apartado 14237. Bogotá, D.C. Editada 2014-11-06.

Norma Técnica Colombiana. NTC 6027. 2013. Determinación de toxinas T-2 y HT-2 en granos de cereal mediante limpieza por inmutofinidad y cromatografía líquida con detección de fluorescencia. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Apartado 14237. Bogotá, D.C. Editada 2013-11-27.

Norma Técnica Colombiana. NTC 5961. 2012. Determinación de deoxinivalenol (DON) en harina de trigo blanca, harina de trigo integral y salvado de trigo mediante cromatografía líquida de alta eficiencia / extracción de fase sólida. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Apartado 14237. Bogotá, D.C. Editada 2012-12-21.

Norma Técnica Colombiana. NTC 5472. 2007. Determinación de ocratoxina A en cereales y sus derivados por cromatografía líquida de alta eficiencia, HPLC. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Apartado 14237. Bogotá, D.C. Editada 2007-03-28.

Norma Técnica Colombiana. NTC 4881. 2000. Método de análisis de Zearalenona de ocurrencia natural. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Apartado 14237. Bogotá, D.C.

Norma Técnica Colombiana. NTC 1232. 1996. Método de análisis de aflatoxinas de ocurrencia natural (B1, B2, G1 y G2). Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Apartado 14237. Bogotá, D.C. Primera actualización 2001-09-11.

Olea, J., Aragon, J., Zapata, M., & Tur, J. (2012). Characteristics of patients with wet age-related macular degeneration and low intake of lutein and zeaxanthin. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología (English Edition)*, 87(4), 112-118.

Oliveira, C., Corassin, C., Corrêa, B., & Oswald, I. (2014). Animal health: mycotoxins. *Encyclopedia of agriculture and food systems*, 1.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. 1996. Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo. Leipzig. 6 p.

Paliwal, R. (2001e). El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción (No. 28). *Food & Agriculture Org.* Pág 46.

Pandey, I., & Chauhan, S. (2007). Studies on production performance and toxin residues in tissues and eggs of layer chickens fed on diets with various concentrations of aflatoxin AFB1. *British poultry science*, 48(6), 713-723.

Perilla, N., & Diaz, G. (1998). Incidence and levels of fumonisin contamination in Colombian corn and corn products. *Mycotoxin research*, 14(2), 74-82.

Perilla, N., Cruz, M, De Belalcazar, F., & Diaz, G. 1997. Effect of temperature of wet extrusion on the nutritional value of full-fat soya beans for broiler chickens. *British Poultry Science*, 38, 412-416.

Philip, T., Weber, C., & Berry, J. (1976). Utilization of lutein and lutein-fatty acid esters by laying hens. *Journal of food Science*, 41(1), 23-25.

Prathapkumar, S., Rao, V., Paramkishan, R., & Bhat, R. (1997). Disease outbreak in laying hens arising from the consumption of fumonisin-contaminated food. *British poultry science*, 38(5), 475-479.

Presello, D., Oviedo, M., Fernández, M., Iglesias, J., & Copia, P. (2016). Resistencia a podredumbres de espiga y acumulacion de micotoxinas en maíz. *Maíz*, 10 (32).

Pportimes. (2018). Los 10 mayores importadores de maíz del mundo. Recuperado de <https://www.opportimes.com/los-10-mayores-importadores-de-maiz-del-mundo/>

Ramos, R. (2009). Descripción de enfermedades micóticas de pollo de engorde. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Unidad laguna. Torreon, Coahuila, México. Pág. 32.

Rezar, V., Frankič, T., Narat, M., Levart, A., & Salobir, J. (2007). Dose-dependent effects of T-2 toxin on performance, lipid peroxidation, and genotoxicity in broiler chickens. *Poultry science*, 86(6), 1155-1160.

Rosa, A., Bonilla, C., Londero, A., Giacomini, C., Orso, C., Fernandes, M., Moura, J., & Hermes, R. (2017). Effect of broiler breeders fed with corn or sorghum and canthaxanthin on lipid peroxidation, fatty acid profile of hatching eggs, and offspring performance. *Poultry science*, 96(3), 647-658.

Rose, S. (1997). Principios de la ciencia avícola. calidad del huevo. de la edición en la lengua española. Editorial acribia, S. A., Apartado 466 50080. España. pp.151.

Rostagno, H., Teixeira, L., Hannas, M., Lopes, J., Kazue, N., Guilherme, F., Saraiva, A., Teixeira de Abreu, M., Borges, P., Flávia de Oliveira, R., Luiz de Toledo, S., Oliveira Brito, C. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos exigencias nutricionais. 4ª ed. Editor: Horacio Santiago Rostagno. Viçosa Departamento de Zootecnia. Pág. 271.

Rule, D., Broughton, K., Shellito, S., & Maiorano, G. (2002). Comparison of muscle fatty acid profiles and cholesterol concentrations of bison, beef cattle, elk, and chicken. *Journal of Animal Science*, 80(5), 1202-1211.

Sakomura, N., & Rostagno, H. (2016). Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Metodologias para avaliar o conteúdo de energia dos alimentos. 2ª ed. Jaboticabal: Funep. Universidade Federal de Viçosa. Pág. 53.

Salinas, Y., Saavedra, S., Soria, J., & Espinosa, E. (2008). Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays L.*) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 357-364.

Sanjeev, P., Chaudhary, D., Sreevastava, P., Saha, S., Rajenderan, A., Sekhar, J., & Chikkappa, G. (2014). Comparison of fatty acid profile of specialty maize to normal maize. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(6), 1001-1005.

Santana, S. (2008). El huevo como aliado de la nutrición y la salud. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición* (mayo), 5-6.

Sharby, T., Templeton, G., Beasley, J., & Stephenson, E. (1973). Toxicity resulting from feeding experimentally molded corn to broiler chicks. *Poultry science*, 52(3), 1007-1014.

Scheideler, S., Rice, D., Smith, B., Dana, G., & Sauber, T. (2008). Evaluation of nutritional equivalency of corn grain from DAS-Ø15Ø7-1 (Herculex* I) in the diets of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(3), 383-389.

Simón, M., & Golik, S. (2018). Cereales de verano. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

Simopoulos, A. (2009). Omega-6/omega-3 essential fatty acids: biological effects. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 99(1), 1-16.

Singh, S., & Essary, E. (1974). Factors influencing dressing percentage and tissue composition of broilers. *Poultry Science*, 53(6), 2143-2147.

Souza, R. (2008). La comercialización de los huevos. *Selecciones Avícolas: Reus*.

Statistix, S. (2008). User's Manual, Analytical software. Tallahassee, Florida.

Talmadge, N., Zelpha J., Linda, K., & Beasley, J. (1982). Digestion of dry matter and amino acids and energy utilization by chicks fed molded corn containing mycotoxins. *Poultry science*, 61(3), 584-585.

Tovar, C., & Colonia, B. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110.

Tovar, T. (2008). Caracterización Morfológica y termica del almidon de Maíz (*Zea mays L*) obtenido por diferentes metodos de aislamiento. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. Tesis pregrado. Pachuca de Soto, Hidalgo.

USDA-GIPSA. United States Standards for Corn. (1996). USDA Grain Inspection, Packers and Stockyards Administration (GIPSA). [online]

<http://www.gipsa.usda.gov/fgis/standards/810corn.pdf>. [URL accessed Dic 2019].

Vanegas-Angarita, H. CEO Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. Personal communication. 2019.

Vargas, L. (2014). El maíz, viajero sin equipaje. *Anales de antropología*, 48(1), 123-137.

Vásquez, W., Yossa, M., & Gutiérrez, M. (2013). Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(8), 920-927.

Watkins, B. (1995). Biochemical and physiological aspects of polyunsaturated. *Poultry and Avian Biology Reviews*, 6(1), 1-18.

Weihrauch, J., Posati, L., Anderson, B., & Exler, J. (1977). Lipid conversion factors for calculating fatty acid contents of foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 54(1), 36-40.

Zuber, T., & Rodehutscord, M. (2017). Variability in amino acid digestibility and metabolizable energy of corn studied in cecectomized laying hens. *Poultry science*, 96(6), 1696-1706.