

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

**EFFECTO DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN SOBRE EL
AMARILLEAMIENTO CUTÁNEO DEL POLLO DE ENGORDA
ALIMENTADO CON *Tagetes erecta***

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

PRESENTA:

MARÍA DE JESÚS JIMÉNEZ FLORES

TUTOR PRINCIPAL:

XOCHITL HERNÁNDEZ VELASCO (FMVZ)

COMITÉ TUTOR:

BENJAMÍN FUENTE MARTÍNEZ (FMVZ)

SERGIO GÓMEZ ROSALES (CENIDFA)



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Cuanto más alto se sube,
Tanto menos entendía
Que es la tenebrosa nube
Que a la noche esclarecía;
Por eso quien la sabía
Queda siempre no sabiendo,
Toda ciencia trascendiendo.*

*Y es de tan alta excelencia
Aqueste sumo saber,
Que no hay facultad ni ciencia
Que le puedan emprender;
Quien se supiere vencer
Con un no saber sabiendo,
Irá siempre trascendiendo.*

San Juan de la Cruz

DEDICATORIA

A mi amado Dios y a la maravillosa familia que me dio como la fuente de mi existencia y ser, la inspiración de mi vida, el nutrir de mi esperanza y reflexiones, la luz de mi camino y el amor que me sacia el alma. Son lo infinito que llena mi infinito.

A las familias Jiménez Mejía, Flores Cuanal y Estrada Jiménez, sus hombros son parte de mi fortaleza para seguir.

A Carmen Tzoni, por las charlas interminables y sus desveladas consecuentes, nuestros paseos en bicicleta y, en especial, por el colorido que le diste a los días cuando llegaste a casa, con un sueño similar al mío.

A Carmen Carranza, Samuel Ortigoza e Iván Pérez por esas cadenas sorprendentes de la vida que enlazan los caminos. Mi corazón se alegra de conocerlos en el momento justo y de tenerlos como amigos.

A mis amigos y cómplices: Tere, Kary, Memo C, Adán, Mariela, Ely, Adolfo, Gustavo Z, Ángel T, Nain, Eren, Gina, Areli, Yas y Perla, por comprenderme, apoyarme y creer en mi. Es una dicha extraordinaria saber que cuento con su apoyo total.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México es un privilegio pertenecer a sus filas de egresados.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por la gran experiencia de vivir la medicina veterinaria en sus instalaciones.

Al Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Avícola y a su personal por las facilidades para realizar el experimento de tesis.

A CONACYT por el apoyo a la investigación y al desarrollo de programas de calidad.

A PAPITT por el financiamiento para la realización de este estudio.

A la Dra. Xóchitl Hernández por la confianza depositada en mi, fue un honor el trabajar con usted.

Al Dr. Benjamín Fuente por sus enseñanzas aplicables para la investigación y la vida.

Al Dr. Sergio Gómez por su consejo y admirable paciencia para compartir su conocimiento.

Al Dr. Ernesto Ávila por su atención y sugerencia para la culminación de este proyecto.

Al Jurado, Dra. Zoila Irma Tejeda, Dra. María Elena Carranco, Dr. Juan Carlos del Río; por su disposición, consejo y sus observaciones enriquecedoras.

Al Dr. Manuel Quiroz por su valiosa colaboración.

A los colaboradores excepcionales del CEIEPAv, Alma, Jorge, Lázaro, David, Miriam, Erick, Carlos, Manuel y Nancy.

A Ángeles Tepox, tu amistad le dio el toque a la maestría.

Al Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves por su inigualable hospitalidad.

A Industrias Vepinsa S.A. De C.V., por la donación del pigmento, y a los Ingenieros Gustavo Rodríguez y Salvador Velasco del Laboratorio de Control de Calidad por la realización del HPLC.

Al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, por la ayuda para realizar la determinación de titanio; a Marco y al personal de laboratorio por su paciencia y cordialidad.

Al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica por apoyar en la liofilización de las muestras de contenido ileal; en especial al Q.F.B. Águeda, a Fer, Martín, Tere y al Dr. Castrejón.

Al Dr. Salvador Velásquez por su consejo y su apoyo incondicional.

Al Dr. Francisco Torres por permitirme la entrada a las instalaciones de Bachoco.

A las familias Sosa Echevarría y Centeno Sosa, en especial a Nain, por el cariño y hospitalidad que en todo momento y sin dudarlos me brindaron.

A Lidia, Judith, Bele y Poncho, por su amable atención y su cálido alojamiento.

RESUMEN

Con el objeto de evaluar la absorción y el amarilleamiento en la piel del pollo de engorda, hembra y macho, criados con diferentes niveles de iluminación natural (NI) (lux); se realizó un estudio con 1000 aves comerciales, 500 hembras y 500 machos, de la estirpe Cobb de 21 días de edad. Las cuales fueron distribuidas en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 5x2, donde el primer factor fueron los diferentes NI natural (10, 25, 50, 65 y 100%) y el segundo factor el sexo de las aves (hembras y machos). Las aves fueron alimentadas con dietas con base en sorgo + pasta de soya de acuerdo con las recomendaciones nutricionales de la estirpe y 90 ppm de xantofilas de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*). Se llevaron registros de los parámetros productivos. Se midió la pigmentación cutánea *in vivo* y el pigmento plasmático, además se calculó la digestibilidad ileal aparente. A los 49 días de edad (28 días de experimentación), los parámetros productivos no fueron afectados por los diferentes NI natural ($P>0.05$). Para la digestibilidad ileal aparente no se encontró efecto a los NI natural, así como tampoco al sexo, con promedio para los machos de 56.8% y para las hembras de 56.9% ($P>0.05$). Se encontró diferencia estadística, en la concentración de xantofilas en plasma entre sexos (73.1 $\mu\text{g/mL}$ hembras y 83.3 $\mu\text{g/mL}$ machos) ($P<0.05$), con efecto cuadrático; sin embargo, para los diferentes tratamientos no se obtuvo efecto ($P>0.05$). No se encontró diferencia entre los diferentes NI natural sobre el amarilleamiento en la piel ($P>0.05$), pero se encontró efecto al sexo ($P<0.05$) siendo mayor la coloración de las hembras respecto a los machos.

Palabras clave: Niveles de iluminación natural, Pigmentación, *Tagetes erecta*, Pollo de engorda.

ABSTRACT

An experiment was conducted to determine the effects of rearing broilers with different levels of natural lighting on pigmentation. The experiment was carried out with one thousand broilers Cobb (500 females, 500 males) of 21 days-old. The birds were randomly assigned in 5x2 arrangement factorial. A different level of natural lighting was first factor (10, 25, 50, 65 and 100%) second factor was broiler's sex. Broiler's feed was based on soybean meal and sorghum with 90 ppm of xanthophylls from Aztec marigold (*Tagetes erecta*). The following productive parameters were recorded: body weight gain, feed intake, xanthophylls intake and conversion. Also other variables were measured: levels of carotenoids in plasma, *in vivo* skin yellowness, and pigment apparent ileal digestibility. Means were compared using the Tukey's test. No significant differences was found ($P>0.05$) in productive parameters and different levels of natural lighting. Apparent ileal digestibility of xanthophylls from *Tagetes erecta* presents no significant differences ($P>0.05$) between different levels of natural lighting. Statistical difference was found in plasma xanthophyll on both sexes (73.1 $\mu\text{g/mL}$ females and 83.3 $\mu\text{g/mL}$ males) ($P<0.05$). Skin yellowness doesn't present significant differences through different levels of natural lighting ($P>0.05$). Finally, skin yellowness in females was higher than males (females 19.5 b* and males 17.7b*).

Keywords: Levels of natural lighting, Pigmentation, Aztec marigold, *Tagetes erecta*, Broilers.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
Impacto del color de los alimentos en los consumidores	2
Generalidades de los carotenoides	3
Presencia y distribución de pigmentos carotenoides	3
Estructura química	4
Xantofilas de la flor de cempasúchil (<i>Tagetes erecta</i>)	6
Consumo, absorción, digestibilidad y depósito de xantofilas	7
Luz, visión y su relación con la pigmentación de las aves	11
Visión de las aves y la importancia de la luz.....	11
Influencia de la luz en la pigmentación de las aves	12
JUSTIFICACIÓN.....	13
HIPÓTESIS.....	14
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Particulares	15
MATERIAL Y MÉTODOS	16
Análisis estadístico	22
Parámetros productivos	24
Digestibilidad ileal aparente	27
Pigmento en plasma	27
Amarilleamiento cutáneo	28
Lux y luz UV.....	29
DISCUSIÓN	30
Parámetros productivos.....	30
Digestibilidad, cuantificación de xantofilas en plasma y amarilleamiento cutáneo.....	31
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34

Lista de figuras

Figura 1. Estructuras de carotenoides. En A se representa la estructura lineal acíclica del licopeno, con 40 carbonos, con 11 D.E.C. En B representa la estructura de la luteína, con anillos terminales, con 10 D.E.C. y moléculas de oxígeno.	4
Figura 2. Configuración trans y cis de los D.E.C. de los carotenoides. La configuración tipo trans, proporciona mayor estabilidad que la cis, ya que esta última provoca obstaculización estérica.....	5
Figura 3. Ganancia de peso (g) en pollos de engorda hembras y machos criados en casetas de ambiente natural con diferentes niveles de iluminación a los 28 días de experimentación (49 de edad)..	25
Figura 4. Consumo de xantofilas amarillas (mg) en pollos de engorda en casetas de ambiente natural con diferentes NI (%) a los 28 días de experimentación (21-49 días de edad).....	26
Figura 5. Consumo de alimento (g) de pollos de engorda hembras y machos en casetas de ambiente natural con diferentes niveles de iluminación (%) a los 28 días de experimentación (49 días de edad).....	26
Figura 6. Cuantificación de pigmento en plasma ($\mu\text{g/mL}$), al tiempo de consumo de pigmento (días), con diferentes niveles de iluminación (%).	28

Lista de cuadros

Cuadro 1. Composición y análisis calculado de la dieta experimental para pollos de engorda.....	18
Cuadro 2. Parámetros productivos de pollos criados del día 21 al 49 de edad criados en casetas de ambiente natural con diferentes niveles de iluminación.	24
Cuadro 3. Digestibilidad ileal aparente promedio (%) en pollos de siete semanas alimentados con xantofilas amarillas de <i>Tagetes erecta</i>	27
Cuadro 4. Cuantificación de pigmento en plasma ($\mu\text{g/mL}$) al sexo del pollo de engorda con diferentes niveles de iluminación natural (%).	27
Cuadro 5. Respuesta de pigmento amarillo en piel b^* al tiempo de consumo de pigmento (días) a diferentes niveles de iluminación (%) en una caseta de ambiente natural.	29
Cuadro 6. Valores promedio de lux y de luz UV en casetas de ambiente natural con diferentes niveles de iluminación (%).	29

INTRODUCCIÓN

La comercialización del pollo de engorda en México, China, Perú, Italia, entre otros países, depende en gran medida de la tonalidad amarilla de su piel. Los efectos sensoriales, entre ellos el visual; son fundamentales para la comercialización, pues para el consumidor, la apariencia es uno de los atributos más importantes que afectan la elección de su compra. La tonalidad amarilla está fuertemente asociada con el estado de salud del pollo, frescura y sabor de la canal, y en consecuencia, con la calidad del producto. Lograr una pigmentación adecuada corresponde a un mejor precio de venta, y por el contrario; una mala pigmentación es causa de penalización en el precio, o en casos extremos al rechazo del producto (Williams, 1989; Baker y Günter, 2004; Castañeda *et al.*, 2005; Breithaupt, 2007; Wu y Da-Wen, 2013)

El sentido de la vista está bien desarrollado en las aves, es por esto que la iluminación en la crianza del pollo es importante. La crianza en casetas cerradas o *blackout*, es un sistema, con control de luz, que proporciona un ambiente favorable para el crecimiento de los animales (Janky *et al.*, 1980). Pese a los resultados positivos obtenidos en las casetas cerradas, existen estudios que reportan que el pollo de engorda criado en casetas abiertas con iluminación natural logra una mejor pigmentación que aquel que se cría en casetas cerradas (Fletcher *et al.*, 1977a).

Impacto del color de los alimentos en los consumidores

La elección de un producto, por parte de los consumidores, a menudo depende de su apariencia. El color de los alimentos es la característica más importante que determina la decisión de compra por parte del consumidor (Williams, 1989; Baker y Günter, 2004; Breithaupt, 2007; Wu y Da-Wen, 2013); ya que lo asocian con la edad y el estado de salud de los animales, y en consecuencia con la calidad del producto.

Desde muy temprana edad los individuos relacionan el color con el sabor de los alimentos. Se han realizado estudios en donde se cambia el color común de algunos alimentos, y la respuesta de la gente es de rechazo (Chichester, 1981).

Con la finalidad de cubrir la demanda de color del mercado se adicionan aditivos sensoriales a las dietas de los animales, los cuales son sustancias que cambian las propiedades organolépticas o características de tipo visual. Los aditivos sensoriales comúnmente utilizados son los carotenoides (Breithaupt, 2007).

Aunque los carotenoides son encontrados en la naturaleza, sólo algunos son importantes para la industria de aditivos (Breithaupt, 2007; Baker y Günter, 2004).

Generalidades de los carotenoides

Presencia y distribución de pigmentos carotenoides

Los carotenoides son los pigmentos naturales más importantes. Se encuentran en todos los filos del reino vegetal y animal; aunque sólo se sintetizan *de novo* en las plantas superiores y organismos procariotas (Pfander, 1992; Britton, 1995). La producción total de carotenoides en la naturaleza es de aproximadamente 10^8 toneladas por año (Pfander, 1992).

En las plantas superiores los carotenoides que se encuentran generalmente en los cloroplastos son α - y β -caroteno, β -criptoxantina, luteína, zeaxantina, violaxantina y neoxantina. Los carotenoides en el caso de las plantas fungen como antenas captadoras de luz y como protectores de la foto-oxidación (Clotault et al., 2008).

En el caso de los frutos el perfil de carotenoides hallados es muy amplio. En flores y frutos, los carotenoides acumulados en los cloroplastos dan el color que atrae a los animales, los cuales actúan como agentes polinizadores (Clotault et al., 2008).

En los animales es posible encontrar carotenoides procedentes de la dieta; tanto en forma inalterada, como oxidados o reducidos. Son estos los responsables de dar las coloraciones características a las aves de ornato, así como a los invertebrados marinos. Para el caso particular de los animales la presencia de estos pigmentos son de gran relevancia en el aspecto reproductivo (Moller et al., 2000).

Los carotenoides también son usados como aditivos en explotaciones de salmón y en la producción de pollo de engorda y de huevo para plato.

En el caso de los humanos se ha reportado que los carotenoides tienen propiedades antioxidantes, además de prevenir algunos tipos de cáncer así como enfermedades coronarias, también proporciona protección a los ojos y a la piel del daño de los rayos ultravioleta (Alaluf *et al.*, 2002; Krinsky, 2002; Baker y Günter, 2004; Botella y Rodríguez, 2006).

En los últimos años se ha dado mucha importancia al uso de estas sustancias como consecuencia de la demanda del consumidor, y no debido a necesidades nutricionales.

Estructura química

Los carotenoides son lípidos de naturaleza tetraterpenoide compuestos, casi todos, de 40 átomos de carbono formados por ocho unidades isoprenoideas unidas de forma que la secuencia se invierte en el centro de la molécula (Britton, 1983; Pfander, 1992; Britton, 1995; Fraser y Bramley, 2004; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007b). Pueden presentar una estructura acíclica, como en el caso del licopeno, o poseer distintas estructuras cíclicas de cinco o seis carbonos, en uno o en ambos extremos (Figura 1).

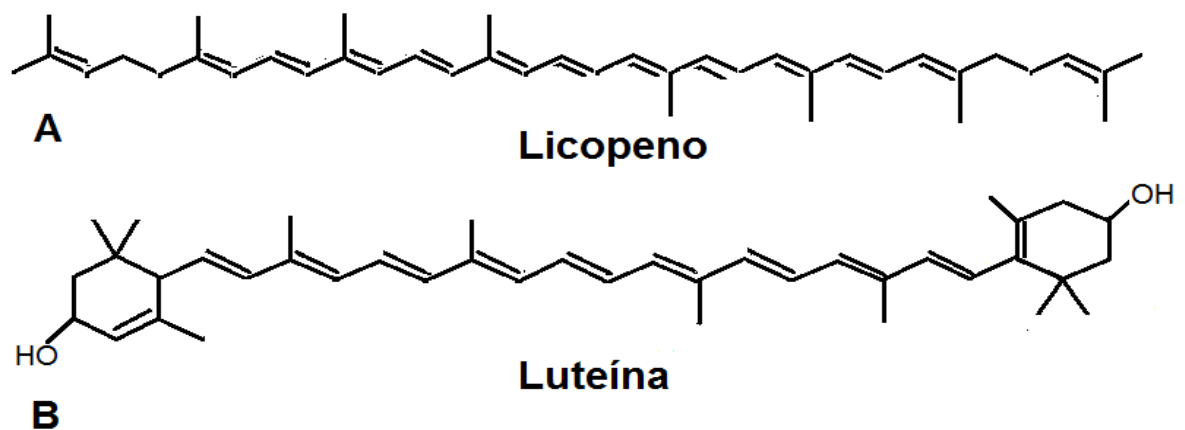


Figura 1. Estructuras de carotenoides. En A se representa la estructura lineal acíclica del licopeno, con 40 carbonos, con 11 D.E.C. En B representa la estructura de la luteína, con anillos terminales, con 10 D.E.C. y moléculas de oxígeno.

El grupo de los carotenoides se divide en dos subgrupos, dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno en su estructura química (Figura 1). Aquellos que contienen en su molécula oxígeno son denominados xantofilas u oxicarotenoides, mientras que los restantes son simplemente carotenoides (Hencken, 1992; Pfander, 1992; Hudon, 1994; Britton, 1995; Breithaupt, 2007; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007a).

La característica más importante de los pigmentos carotenoides es el sistema de dobles enlaces conjugados (D.E.C) que forman la parte central de la molécula, también llamada cadena polienoica (Britton, 1995; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007a; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007b).

La cadena polienoica es responsable de la forma estructural del carotenoide así como de la reactividad, espectro de absorción y en su papel de transferencia de energía (Pfander, 1992; Britton, 1995; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007a; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007b).

Las diferentes configuraciones geométricas en torno a los D.E.C., da lugar a la existencia de isómeros. Los D.E.C. se pueden encontrar de dos formas: trans o cis (Figura 2). En la naturaleza solo se encuentran algunos isómeros.

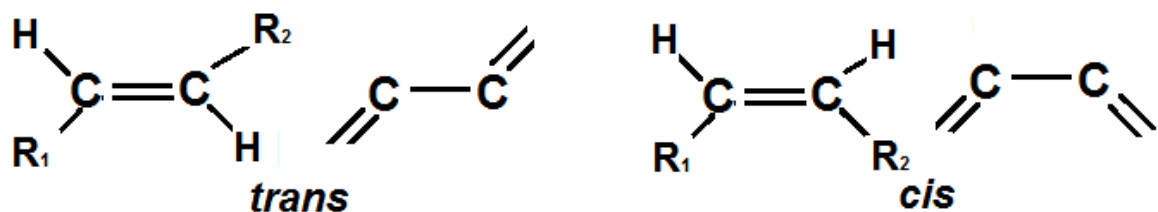


Figura 2. Configuración trans y cis de los D.E.C. de los carotenoides. La configuración tipo trans, proporciona mayor estabilidad que la cis, ya que esta última provoca obstaculización estérica.

En los alimentos los carotenoides se encuentran 60 al 90% en forma de trans y de 10 a 30% en forma cis (Hencken, 1992). En el caso de los enlaces cis están menos favorecidos energéticamente por obstaculización de la cercanía de átomos de hidrógeno y grupos metilo, por lo que son menos estables termodinámicamente que las formas trans (Pfander, 1992; Britton, 1995; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007a; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007b).

Carotenoides en la industria avícola

Según Global Industry Analysts, Inc., el mercado global de los carotenoides se proyecta con un valor 1.2 billones de dólares para el 2018.

En el mercado global de los carotenoides, las xantofilas presentan una relevancia en la industria de alimentos, como aditivos sensoriales. Con un gran impacto económico, se tiene en primer y segundo término a la astaxantina y la cantaxantina, respectivamente; en tercer lugar se encuentra la luteína, cotizada fuertemente en el mercado de la producción avícola, específicamente en el pollo de engorda.

Las xantofilas más empleadas, en la avicultura mexicana, se extraen de la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*), y de los chiles del género *Capsicum*. Algunos otros de síntesis química, como el apoester y la cantaxantina, son también utilizados (Cuca *et al.*, 2009; Hernández, 2012).

Xantofilas de la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*)

La flor de cempasúchil es originaria de México y es una de las fuentes más importantes de xantofilas en la industria local. En años anteriores se cultivaba en México y en Perú; sin embargo la producción en la década de los noventa se trasladó a China e India. El 85% del pigmento, extraído de la flor de cempasúchil, se utiliza para la pigmentación de las aves. El 15% restante está destinado a la producción de productos nutraceúticos.

El proceso tradicional para la obtención de xantofilas como aditivo alimentario a partir de la flor de cempasúchil es ensilado, secado, pelletizado, lixiviación, destilación, saponificación y purificación (Delgado *et al.*, 1998; Rangel *et al.*, 2008). El producto terminado tiene alrededor de 80 a 90 % de luteína libre, 5% de zeaxantina y de un 5 a 15% de carotenoides como la violaxantina y la criptoxantina (Fletcher y Papa, 1986).

Consumo, absorción, digestibilidad y depósito de xantofilas

El amarilleamiento cutáneo del pollo de engorda está directamente relacionado con la concentración de xantofilas en las dietas; así como la cantidad y tiempo de consumo (Muñoz *et al.*, 20012; Tepox, 2013).

El nivel requerido de xantofilas en la ración, para lograr la pigmentación comercial requerida, varía ampliamente. En la zona centro de México, los niveles en la dieta van de 80 a 90 ppm (Martínez *et al.*, 2004). El suministro de las xantofilas en la dieta generalmente es a partir de la tercera semana de edad, debido a que el depósito de pigmento es un proceso lento y acumulativo.

Para pigmentar los tejidos de un animal, los pigmentos oxicarotenoides deben de ser absorbidos a través de la pared intestinal, ser transportados por la sangre, depositados en el hígado y finalmente ser almacenados en los tejidos del ave (tejido adiposo subcutáneo, piel y los tarsos) principalmente en forma esterificada (Tyczkowski y Hamilton, 1986 a, Tyczkowski y Hamilton, 1986b; Tyczkowski y Hamilton, 1986c; Tyczkowski y Hamilton, 1986d).

Los carotenoides son sustancias liposolubles, es por ello que se consideran dentro de la ruta de la digestión de los lípidos (Parker, 1996). El principal objetivo de la digestión de los lípidos es que se modifiquen de tal forma en que sean sustancias hidromiscibles y puedan absorberse a través de las microvellosidades del intestino delgado (Scott *et al.*, 1982; Grimminger, 1976).

Bajo estas circunstancias, los lípidos son sometidos a digestión en la primera porción del duodeno por efecto de la actividad peristáltica de la molleja (Place, 1996). La emulsión de las grasas continúa en el intestino delgado tras el contacto de las sales biliares. El tamaño de las partículas de grasa se reduce hasta 500 a 100 Å. El menor tamaño de las partículas formadas por acción de los ácidos biliares determina una mayor superficie de exposición a las lipasas pancreáticas, debido a que las lipasas actúan solo a nivel de la superficie agua-grasa.

El resultado de la acción de las lipasas sobre los triglicéridos da como resultado ácidos grasos libres, fosfolípidos y diferentes esteres de ácidos grasos. Los derivados lipídicos más polares pasan a la fase acuosa del intestino y entran a formar parte de las micelas. Las moléculas se agrupan de tal manera que los grupos polares se encuentran en el exterior en contacto de la fase acuosa, en tanto que las partes no polares forman el corazón lipídico de las micelas (Scott *et al.*, 1982; Grimminger, 1976).

Tycowski y Hamilton (1986 a, b y c) propusieron adicionar luteína diéster, monoéster y libre, encontrando una interacción entre las enzimas que llega a convertir la luteína diéster en luteína monoéster y esta última en luteína libre.

El proceso de transporte de lípidos, a través de la membrana del enterocito, se realiza mediante difusión pasiva, principalmente a nivel del yeyuno. El grado de absorción va a depender de diferentes factores: Los monoglicéridos por los dos grupos hidroxilo es más polar que los ácidos grasos libres, lo cual favorece su absorción; las proteínas transportadoras de ácidos grasos tienen mayor afinidad por los ácidos grasos poliinsaturados, y estos, además tienen más capacidad para formar micelas por lo que su grado de absorción es mayor respecto a los ácidos grasos saturados; a menor longitud de cadena del ácido graso mayor polaridad con relación al tamaño de la molécula, por lo tanto mayor interacción con el medio acuoso, y la combinación de ácidos grasos poliinsaturados y de ácidos grasos saturados mejora la absorción de los últimos (Krogdahl, 1985; Parker, 1996; Fraser y Bramley, 2004).

En el caso del pollo de engorda la absorción de la luteína, la principal xantofila utilizada, ocurre en el duodeno y en el yeyuno; mientras que la zeaxantina se absorbe en el íleon, por vía micelar en un proceso pasivo bajo concentración de gradiente.

La zeaxantina es absorbida tres veces más que la astaxantina y la luteína libre es absorbida cerca de dos veces más que la luteína diester, por lo cual se saponifica antes de incorporarse a la dieta (Tyczkowski y Hamilton, 1986a; Tyczkowski y Hamilton, 1986b; Fletcher y Papa, 1986).

Uno de los factores más importantes de la biodisponibilidad de las xantófilas es la matriz de alimento en la que se encuentran, se ha demostrado que la absorción mejora marcadamente por la presencia ácidos grasos de cadena corta y también en presencia de ácidos grasos insaturados (Tyczkowski *et al.*, 1989).

Los lípidos se transportan desde las células entéricas hasta los distintos tejidos por la circulación, principalmente como lipoproteínas y, en menor grado como ácidos grasos libres. La parte proteica de las lipoproteínas determina las propiedades hidrosolubles a los lípidos y permite su transporte en la sangre. Las lipoproteínas están compuestas por un núcleo hidrofóbico (lípidos no polares) y una capa externa de lípidos polares y apoproteínas. En el pollo de engorda se han identificado cinco lipoproteínas (portomicrones, quilomicrones, lipoproteínas de muy baja densidad, lipoproteínas de densidad intermedia, lipoproteínas de baja densidad y lipoproteínas de alta densidad). Las apoproteínas, aparte de aportar el carácter hidrofílico a las lipoproteínas, juegan un factor fundamental en el metabolismo y reconocimiento de estas macromoléculas por los tejidos corporales (Scott *et al.*, 1982; Griminger, 1976).

Tyczkowski y Hamilton (1986a) encontraron una correlación positiva entre la luteína de la dieta y la del suero, por lo que establecen que la absorción es un proceso insaturable; sin embargo estudios realizados establecen que la absorción y el sistema, por sí mismo, son saturables por arriba de las 100 ppm de luteína dietética, lo que sugiere una baja capacidad de incorporación micelar o una limitada capacidad de traslocación intracelular (Allen, 1992; Parker, 1996).

Se conoce que la luteína libre es la más abundante en suero, por lo que se especula que la forma en que se absorbe es en forma libre (Tyczkowski y Hamilton, 1986a; Breithaupt *et al.*, 2003). Por otro lado Allen (1987) halló que los carotenoides en plasma están unidos principalmente a lipoproteínas de alta densidad, por consiguiente a apoproteínas A-I.

La capacidad pigmentante de las xantofilas no solo está vinculada con el grado de asimilación a nivel intestinal, sino además con la afinidad que presenta por depositarse en un tejido determinado.

Los lípidos son retirados de la sangre por el tejido adiposo, el hígado y otros tejidos. La captación de los lípidos por estos tejidos va seguida de la hidrólisis; este proceso es catalizado por la lipoproteína lipasa existente en las paredes de los capilares de los tejidos (Scott *et al.*, 1982; Grimminger, 1986).

Se ha reportado que la luteína que es captada en el hígado se encuentra en forma esterificada, por lo que se sugiere que quizá haya una enzima que esterifique la luteína libre. Las formas esterificadas de la luteína, y particularmente el diéster, parecen ser las que se deposita en el integumento. Las cantidades de luteína monoéster sugieren que la formación de luteína diéster es a partir de la luteína libre, por lo que se podría hablar de pasos enzimáticos y a su vez de equilibrio entre las reacciones (Tyczkowski y Hamilton, 1986a; Tyczkowski y Hamilton, 1986b; Tyczkowski y Hamilton, 1986c).

La grasa corporal es un tejido de constantes cambios, por lo que los carotenoides al estar depositados en él, se ven involucrados en su metabolismo. El tiempo en el que se movilizan completamente los depósitos de carotenoides de la grasa corporal, de la piel en los tarsos y de la epidermis, es diferente. En la epidermis la tasa metabólica es menor, pero existe un fenómeno de descamación, por lo que un cambio de coloración es casi tan rápido como el que se presenta en la grasa. Los tarsos en cambio tienen un metabolismo y descamación más lentos (Petroni *et al.*, 2003).

Luz, visión y su relación con la pigmentación de las aves

Visión de las aves y la importancia de la luz

La visión es el sentido predominante de las aves. En la retina del ojo se encuentran dos tipos de células sensibles a la luz, las cuales son bastones y conos. Las aves tienen cuatro tipos de conos, sensibles a longitudes de onda, de 700 a 320 nm; lo cual significa que las aves pueden ver parte del rango de la luz UV-A. Y como consecuencia, probablemente perciben otros colores diferentes a los que percibe el humano (Ringer, 1971; Bennett y Cuthill, 1994; Rozenboim *et al.*, 1999; Prescott y Wathes, 1999; Lewis y Morris, 2000; Maddocks *et al.*, 2001; Khosravina, 2007).

La evolución de la visión y de los signos visuales fue determinado de forma importante, en parte, por la luz disponible del ambiente en el que se desarrollaron las aves (Endler, 1993; 1999; Prescott y Wathes, 1999).

La luz es importante por varias razones. El principal regulador exógeno de las actividades diurnas de las aves es la luz. Además de que las aves reconocen a sus congéneres por señales visuales. Las aves requieren de la luz para la búsqueda de alimento y la exploración de su entorno (Prescott y Wathes, 1999; Lewis y Morris, 2000; Prescott *et al.*, 2003).

La luz natural comprende dos componentes: la luz directa del sol y la luz que se propaga y se refleja en las nubes y otras superficies. El color y la irradiación de la luz en el medio ambiente dependen de la estación, así como de la densidad y el espectro de absorción del propio medio ambiente (Lewis y Morris, 2000; Prescott *et al.*, 2003).

Los sistemas que proporcionan luz, en las casetas modernas, se basan principalmente en la visión del humano, y en los criterios de producción. En donde se aplican regímenes de luz, los cuales influyen directamente en la producción y en el comportamiento de las aves (Prescott y Wathes, 1999; Lewis y Morris, 2000; Prescott *et al.*, 2003).

La luz artificial que se usa en las casetas modernas, difiere de la luz natural. La principal diferencia es que en las casetas se recrean ambientes muy oscuros. Aunque se dan variaciones de luz que van de 1 lux a 200 lux en casetas con crianza de pollo de engorda (Prescott and Wathes, 1999; Prescott *et al.*, 2003).

Los efectos de la luz en el comportamiento y en el bienestar del pollo de engorda están mediados, principalmente, por la visión. Aunque también se ven implicados otros fotorreceptores no visuales, como la glándula pineal y la piel.

Influencia de la luz en la pigmentación de las aves

Varios factores se ven implicados en la afección en la pigmentación de la piel de las aves. Entre estas afecciones se encuentra la iluminación.

Algunos estudios que han analizado la influencia de la luz en la pigmentación (Fletcher *et al.*, 1977a y Fletcher *et al.*, 1977b ; Janky *et al.*, 1980; Fletcher 1981; Janky y Harms, 1983; Janky *et al.*, 1985) reportan que la luz del día provoca una pigmentación más intensa de la piel; la cual muestra un cambio de amarillo intenso a naranja.

El consumo de alimento, y por lo tanto el consumo de pigmento, no se ve aumentado por la luz del día, por lo que la tonalidad no se ve influida por el consumo de alimento. Los autores sugieren un cambio del pigmento contenido en el alimento, por la luz (la izomerización de β -caroteno a zeaxantina) o un cambio en el metabolismo del pigmento en el animal (transformación de luteína y zeaxantina a astaxantina) (Fletcher 1981; Janky y Harms, 1983; Janky *et al.*, 1985).

JUSTIFICACIÓN

El amarilleamiento de la piel del pollo se considera un símbolo de calidad. El impacto económico de la pigmentación de la piel del pollo de engorda es determinante en su comercialización.

Pese a la importancia que tiene la pigmentación del pollo, no se han desarrollado estudios actuales que profundicen en el efecto que la luz natural tiene sobre la absorción de las xantofilas, su transporte, su deposición en la piel, para proporcionar el amarillamiento; así como del efecto sobre el sexo.

HIPÓTESIS

La iluminación en una caseta de ambiente natural no afecta el consumo de alimento, consumo de xantofilas, ganancia de peso y conversión alimenticia de los pollos de engorda hembras y machos.

En una caseta de ambiente natural el nivel de iluminación afecta la absorción intestinal de xantofilas amarillas de *Tagetes erecta* en pollos de engorda hembras y machos.

El nivel de iluminación en una caseta de ambiente natural afecta el amarilleamiento de la piel de pollos de engorda hembras y machos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de diferentes niveles de iluminación natural sobre el amarilleamiento cutáneo de la piel del pollo de engorda alimentado con *Tagetes erecta*.

Objetivos Particulares

- Valorar el efecto del nivel de iluminación natural en el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia del pollo de engorda.
- Analizar el efecto del nivel de iluminación natural en la cantidad de pigmento presente en el contenido ileal de pollo de engorda machos y hembras.
- Determinar los niveles de pigmento en plasma en pollos de engorda machos y hembras, con diferentes niveles de iluminación natural.
- Evaluar el efecto del nivel de iluminación natural en el grado de amarilleamiento cutáneo del pollo de engorda macho y hembra.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en el Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que se localiza en la calle Salvador Díaz Mirón No.89, Colonia Santiago Zapotitlán, Delegación Tláhuac, Distrito Federal, México. En el paralelo 19°17' latitud norte y el meridiano 99° 02'30" longitud oeste, a una altura de 2250 msnm. El clima es templado subhúmedo (Cw), enero es el mes más frío y mayo el más caluroso, la temperatura promedio anual es de 16°C. Con una precipitación pluvial anual media de 747 mm (INEGI, 1992).

La concentración de xantofilas en plasma se llevó a cabo en el laboratorio de diagnóstico del Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves de la FMVZ de la UNAM, ubicado en Av. Universidad 3000, en el circuito exterior de Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, Distrito Federal, México.

La determinación de óxido de titanio en alimento y contenido ileal se realizó en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Manejo Animal (CENID-FA), ubicado en el km 1 de la carretera a Colón, Ajuchitlán, Querétaro.

La cuantificación de xantofilas en el alimento y contenido ileal se analizaron en el laboratorio de control de calidad de Industrias Vepinsa SA de CV. Que se encuentra en carretera al campo 35, km 8 SN, zona industrial, Los Mochis, Sinaloa.

Todos los procedimientos de manejo de las aves cumplieron con los requisitos señalados por el comité institucional para el cuidado y uso de los animales experimentales (CICUAE FMVZ-UNAM con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999).

Se utilizaron 1000 aves, 500 hembras y 500 machos, de la estirpe Cobb de 21 días de edad (con un peso promedio en hembras de 722 y en machos de 804 g) y finalizó a los 49 días de edad. Las aves se distribuyeron en corrales en piso, con cama de viruta, en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 5x2 donde el primer factor fueron los diferentes niveles de iluminación natural (NI); 4 niveles donde se redujo el paso luz 10, 25, 50, 65% y un grupo control (100%) y el segundo factor fue el sexo de las aves (hembras y machos), cada tratamiento contó con 4 repeticiones o corrales (2 de hembras y 2 de machos) con 25 aves cada uno.

El grado de cierre del tejido, para el paso de la luz natural, en la malla sombra negra plastificada¹ utilizadas en el presente estudio fueron de 90, 75, 50 y 35 %; las cuales determinaron la intensidad luminosa en los tratamientos: 10, 25, 50 y 65 %; mientras que para el caso del NI de 100%, en el grupo control, no se utilizó malla sombra. La cantidad de luz natural y de UV promedio para los diferentes NI fueron de 28.1, 62.4, 164.0, 216.5 y 246.3 lux; y de 0.001, 0.0003, 0.0020, 0.0023 y 0.0039 de UV respectivamente. Estos fueron registrados diariamente a las 12:00 horas en cada réplica y a la altura del pollo (Wathes *et al.*, 1982 y Martín, 2006), con un luxómetro marca TAND TR-74Ui².

¹ Malla plástica San Antonio (fabricante). El grado de cierre de tejido depende de los hilos de la malla.

90%- 60x19 hilos por pulgada, 24.75x7.5 por cm²

75%-33x22 hilos por pulgada, 13x8.5 por cm²

50%- 20x20 hilos por pulgada, 8x8 por cm²

35%- 9x11 hilos por pulgada, 3.5x4.3 por cm²

² Previamente calibrado (ISO 17025:2006)

Las aves se alimentaron con dietas con base en sorgo + pasta de soya de acuerdo a las recomendaciones nutricionales de la estirpe (Cobb, 2013), con la adición 90 ppm de xantofilas de *Tagetes erecta* (Cuadro 1). Tanto el alimento como el agua se ofrecieron *ad libitum*.

Cuadro 1. Composición y análisis calculado de la dieta experimental para pollos de engorda.

Ingrediente	Cantidad kg
Sorgo	653.700
Pasta de soya	252.000
Aceite vegetal	46.750
Fosfato de calcio	16.700
Carbonato de calcio	14.100
Sal	4.630
Pigmento amarillo*	3.000
DL-Metionina	2.770
L-lisina HCL	2.320
Cloruro de Colina 60%	1.000
Premezcla de vitaminas**	1.000
L-Treonina	0.580
Coccidiostato***	0.500
Premezcla de minerales****	0.500
Bacitacina de zinc	0.300
Antioxidante *****	0.150
Total	1000
Análisis calculado	
Proteína cruda %	18.00
Energía metabolizable (kcal/kg)	3176
Lisina %	0.950
Treonina %	0.720
Met+Cis %	0.830
Calcio total %	0.900
Fósforo disponible %	0.450
Sodio %	0.190

*FLORAFIL 93 POWDER (Vepinsa): 30 g/kg de xantofilas. **Cantidad por Kg: vitamina A 40.000 MIOU, vitamina D₃ 8.000 MIOU, vitamina E 40.000 g, vitamina K 310.000 g, vitamina B₁ 4.000 g, vitamina B₂ 20.000 g, vitamina B₁₂ 60.000 mg, Ácido fólico 1.200 g, Ácido pantoténico 32.000 g, Niacina 100.000 g, Calcio 149.524 g, cbp. 100.000. ***Coccidiostato: monensina sódica. **** Cantidad por Kg: Manganeso (120.0 g), Zinc (100.0 g), Cobre (12.0 g), Yodo (0.7 g), Selenio (0.4 g), Cobalto (0.2 g), cbp. (100.0 g). *****BHT y BTQ.

Al inicio y al final de la prueba se pesaron a todas las aves y el alimento, para calcular el consumo de alimento, consumo de pigmento, ganancia de peso y conversión alimentaria.

Mediante un muestreo aleatorio simple sin remplazo, se midió *in vivo* 2 veces por semana la pigmentación cutánea de 10 aves por repetición, en la zona del apterílica costal derecha con un colorímetro de reflectancia Minolta® CR 400; se registraron los valores de b^* (unidades colorimétricas en amarillos).

Además se midió el pigmento plasmático por medio de la técnica de Allen (1987), para ello se extrajeron 2 ml de sangre mediante punción de la vena radial de 8 aves por tratamiento, la muestra se obtuvo con jeringas con EDTA al 2%, en una proporción de 10:1. La sangre con anticoagulante se transportó en tubos oscuros y en refrigeración para su procesamiento.

Sietes días antes de finalizar la prueba, a la dieta de las aves se le agregó dióxido de titanio a una proporción de 3 kg/ton, como marcador. Al finalizar la prueba se seleccionaron al azar 6 aves por tratamiento que fueron colgadas en ganchos para su procesamiento, se insensibilizaron con un aturdidor comercial (bajo los parámetros de 25 volts, 0.25 amp y 400Hz de corriente alterna de tipo pulsátil). Posteriormente se realizó un corte lateral del cuello y se desangraron durante un minuto con cuarenta segundos. Inmediatamente después, las canales se escaldaron en tanques de agua a 53°C por un minuto y se desplumaron manualmente (Owens *et al.*, 2010). A continuación se realizó la evisceración: para lo cual se cortó la cloaca circularmente, seguido de un corte a lo largo del eje axial (a partir del corte de la cloaca) para facilitar la extracción de las vísceras. Se extrajeron molleja, intestinos, hígado, corazón, bazo e ingluvis.

Para la obtención del contenido ileal, se tomó el contenido del intestino delgado, a partir del divertículo de Meckel hasta medio centímetro antes de los sacos ciegos (Ravindran *et al.*, 2005).

El contenido ileal fue almacenado en bolsas de plástico de color negro y se mantuvieron en congelación a -70° C hasta su liofilización.

La cantidad de titanio contenida en las muestras ileales se determinó por medio de espectrofotometría, con una longitud de onda de 408 nm, mediante la técnica de Jagger *et al.* (1991) a partir de una modificación de la técnica de Leone (1973) (Myers *et al.*, 2004; Titgemeyer *et al.*, 2001).

Para la determinación del perfil de carotenoides, en las muestras de alimentos para aves y contenido ileal se efectuó HPLC y espectrofotometría.

La espectrofotometría se realizó en un instrumento Beckman modelo 65 UV/Vis, equipado con lámpara de deuterio y tungsteno, celda de cuarzo de 1 cm por lado, con un slito ancho de banda de 2 nm, a una longitud de onda de 474 nm, calculado con un coeficiente de extinción $E1\% / 1\text{cm} = 236$ para hexano, en un rango de lectura de 0.3 a 0.6 de absorbancia de las muestras (A.O.A.C, 1990).

Para la realización de la HPLC se utilizó un cromatógrafo de líquidos, marca Varian, equipado con bomba isocrática modelo 9002 y detector UV/Vis modelo 9050 con rango de lectura en absorbancia de 190 a 700 nm, lámpara de deuterio, con paso de luz de 8mm, ancho de banda espectral de 5nm, celda de 15 uL, flujo de solvente de 0.010 a 10 ml/min, presión máxima de operación 410 atms, columna Phenomenex luna 5 micras silica (2) de 4.6 x 250 mm de diámetro, fase móvil hexano + acetato de etilo (75+25), flujo de 2.5 ml/min, longitud de onda 447 nm, tiempo de corrida 35 minutos.

El perfil de cada carotenoide, determinado por HPLC fue expresado como el porcentaje del total de carotenoides. Los cuales fueron cuantificados por espectrofotometría, de acuerdo a la metodología USP29 NF24.

Con los datos obtenidos se calculó la digestibilidad de xantofilas amarillas mediante la fórmula:

$$\text{AID (\%)} = [1 - (\text{Ci}/\text{C0}) \times (\text{N0}/\text{Ni})] \times 100$$

Donde AID es digestibilidad ileal aparente (%),

Ci es la concentración de titanio en la dieta (%),

C0 es la concentración de titanio en la digesta (%),

N0 es la concentración de xantófilas en la digesta (%),

Ni es la concentración de xantófilas en la dieta (%).

(Kong y Adeola, 2010).

Análisis estadístico

Los resultados de las variables productivas: peso corporal, ganancia de peso, consumo de alimento, consumo de xantofilas, índice de conversión y digestibilidad ileal aparente de xantofilas, se evaluaron mediante un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 5x2 mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ij(k)}$$

$i=1, 2, 3, 4 \text{ y } 5$
 $j=1 \text{ y } 2$

Donde: $k=1, 2, 3 \text{ y } 4$

Y_{ij} =variable de respuesta (ganancia de peso, consumo de alimento, consumo de pigmento, índice de conversión y digestibilidad ileal aparente de pigmento)

μ =media general

α_i =efecto del i-ésimo tratamiento (niveles de iluminación 10, 25, 50, 65 y 100)

β_j = efecto del j-ésimo tratamiento (hembras o machos)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = interacción entre el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo tratamiento

$e_{ij(k)}$ = error experimental

Para la cuantificación de pigmento en plasma se realizó una regresión lineal múltiple en donde la variable sexo se utilizó como una variable indicadora (Montgomery y Runger, 1996) mediante el siguiente modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_3$$

Donde:

Y=pigmento en plasma

β_0 =ordenada al origen

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ =coeficientes de regresión

X_1 = sexo (0=hembras, 1=machos)

X_2 = diferentes niveles de iluminación

X_3 = Días de pigmentación

La comparación de las medias se realizó con la prueba de Tukey con una significancia de $P < 0.05$.

RESULTADOS

Parámetros productivos

La respuesta en los pollos de engorda a los parámetros productivos en 28 días de experimentación, se pueden observar en el Cuadro 2. No se encontró efecto a los diferentes NI natural (%) utilizados ($P>0.05$).

Cuadro 2. Parámetros productivos de pollos criados del día 21 al 49 de edad criados en casetas de ambiente natural con diferentes niveles de iluminación.

Ganancia de Peso g			
NI (%)	Hembras	Machos	Promedio
10	2048 ± 20	2587 ± 26	2317 ± 19 ^a
25	2153 ± 26	2563 ± 26	2358 ± 19 ^a
50	2016 ± 26	2557 ± 26	2287 ± 19 ^a
65	2011 ± 26	2558 ± 26	2284 ± 19 ^a
100	2058 ± 26	2587 ± 26	2322 ± 19 ^a
Promedio	2057 ± 12 ^b	2570 ± 12 ^a	
Consumo de alimento g			
10	4830 ± 72	5263 ± 72	5046±51 ^a
25	4601 ± 72	5236 ± 72	4918±51 ^a
50	4769 ± 72	5232 ± 72	5001±51 ^a
65	4836 ± 72	5243 ± 72	5039±51 ^a
100	4801 ± 72	5251 ± 72	5026±51 ^a
Promedio	4767 ± 32 ^b	5245 ± 32 ^a	
Índice de Conversión kg:kg			
10	2.359 ± 0.041	2.034 ± 0.041	2.196 ± 0.029 ^a
25	2.136 ± 0.041	2.043 ± 0.041	2.090 ± 0.029 ^a
50	2.370 ± 0.041	2.046 ± 0.041	2.208 ± 0.029 ^a
65	2.404 ± 0.041	2.049 ± 0.041	2.227 ± 0.029 ^a
100	2.332 ± 0.041	2.029 ± 0.041	2.181 ± 0.029 ^a
Promedio	2.320 ± 0.018 ^b	2.040 ± 0.018 ^a	
Consumo de xantofilas amarillas mg			
10	434 ± 6	473 ± 6	454 ± 4 ^a
25	414 ± 6	471 ± 6	442 ± 4 ^a
50	429 ± 6	470 ± 6	450 ± 4 ^a
65	435 ± 6	471 ± 6	453 ± 4 ^a
100	432 ± 6	472 ± 6	452 ± 4 ^a
Promedio	429 ± 2 ^b	472 ± 2 ^a	

Promedio ± error estándar.

Distintas literales en fila o columna son estadísticamente diferentes ($P<0.05$).

Sin embargo, si hubo efecto al sexo (Figura 3), en donde los machos tuvieron una ganancia de peso (2570 g machos, 2057 g hembras) y consumo de alimento mayor que las hembras (machos 5242 g, hembras 4767 g), así como también un mejor índice de conversión (2.040 kg machos, 2.320 kg hembras). El consumo de xantofilas fue inferior en hembras (429 mg) que en machos (472 mg), lo cual está estrechamente relacionado con su consumo de alimento ($P < 0.05$) (Figuras 4 y 5).

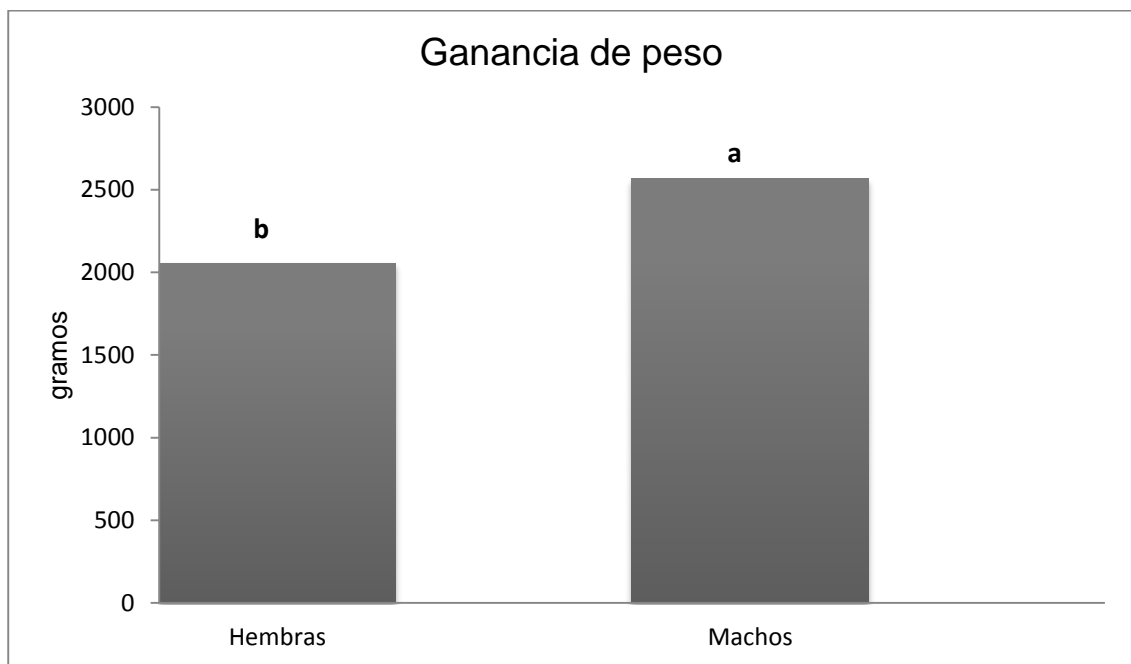


Figura 3. Ganancia de peso (g) en pollos de engorda hembras y machos criados en casetas de ambiente natural con diferentes niveles de iluminación a los 28 días de experimentación (49 de edad). Literales diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

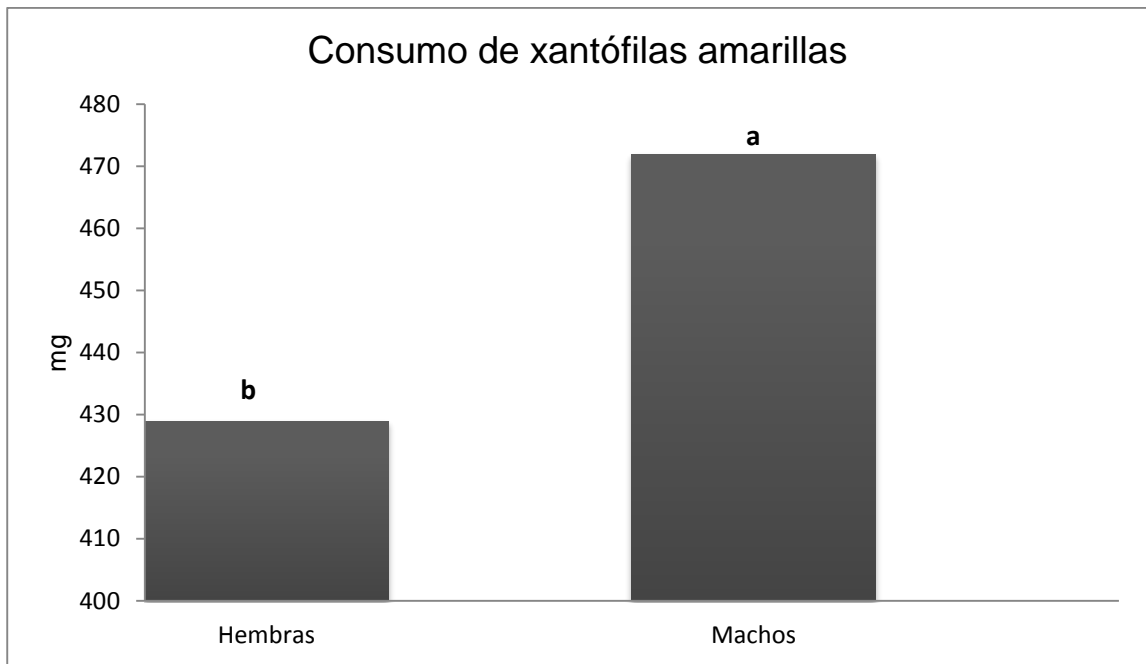


Figura 4. Consumo de xantofilas amarillas (mg) en pollos de engorda en casetas de ambiente natural con diferentes NI (%) a los 28 días de experimentación (21-49 días de edad). Literales diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

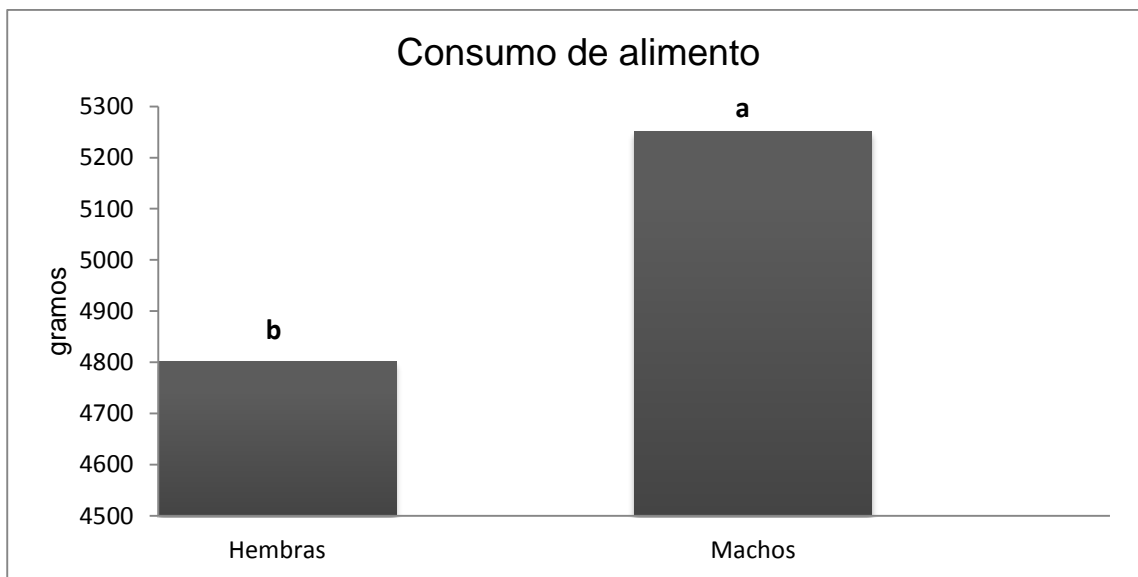


Figura 5. Consumo de alimento (g) de pollos de engorda hembras y machos en casetas de ambiente natural con diferentes niveles de iluminación (%) a los 28 días de experimentación (49 días de edad). Literales diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

Digestibilidad ileal aparente

En el Cuadro 3, se muestran los promedios de digestibilidad ileal aparente para los diferentes niveles de iluminación y para el sexo. No se encontró efecto del NI (%), del sexo del ave, ni de la interacción ($P>0.05$).

Cuadro 3. Digestibilidad ileal aparente promedio (%) en pollos de siete semanas alimentados con xantofilas amarillas de *Tagetes erecta*.

NI (%)	Hembras	Machos	Promedio
10	58.1±6.2	57.1±5.6	57.6±4.2
25	60.5±9.8	60.7±8.0	60.6±6.3
50	53.0±5.6	55.7±5.6	54.4±4.0
65	57.9±5.6	51.3±5.6	54.6±4.0
100	54.9±5.6	69.1±5.6	57.0 ±4.0
Promedio	56.9 ±3.0	56.8±2.7	

Promedio ± error estándar.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, el sexo ni en la interacción.

Pigmento en plasma

En los resultados de pigmento en plasma (PP) (Cuadro 4), hubo diferencia significativa al sexo, en donde los machos presentaron una mayor concentración de xantofilas en plasma que las hembras (machos 83.3 µg/mL, hembras 73.1 µg/mL) ($P<0.05$). No se encontró efecto a los diferentes NI natural (%).

Cuadro 4. Cuantificación de pigmento en plasma (µg/mL) al sexo del pollo de engorda con diferentes niveles de iluminación natural (%).

NI	H	M	Promedio
10	78.9±6.4	79.6±6.4	79.3±4.5
25	69.4±6.4	72.3±6.4	75.3±4.5
50	81.3±6.4	82.6±6.4	81.1±4.5
65	74.3±6.4	70.8±6.4	77.4±4.5
100	87.9±6.4	85.0±6.4	77.9±4.5
Promedio	73.1±2.8 ^b	83.3±2.8 ^a	

Promedio ± error estándar.

No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ($P>0.05$).

Al realizar el análisis de regresión lineal se encontró una respuesta cuadrática para el tiempo de consumo de pigmento (TCP) (Figura 6). Lo cual fue explicado por la ecuación $PP=52.402+1.68 \cdot TCP (TCP-122)^2$. Se excluyó del modelo el sexo y los NI natural (%) debido a que estos no fueron significativos para el modelo de regresión ($P>0.05$).

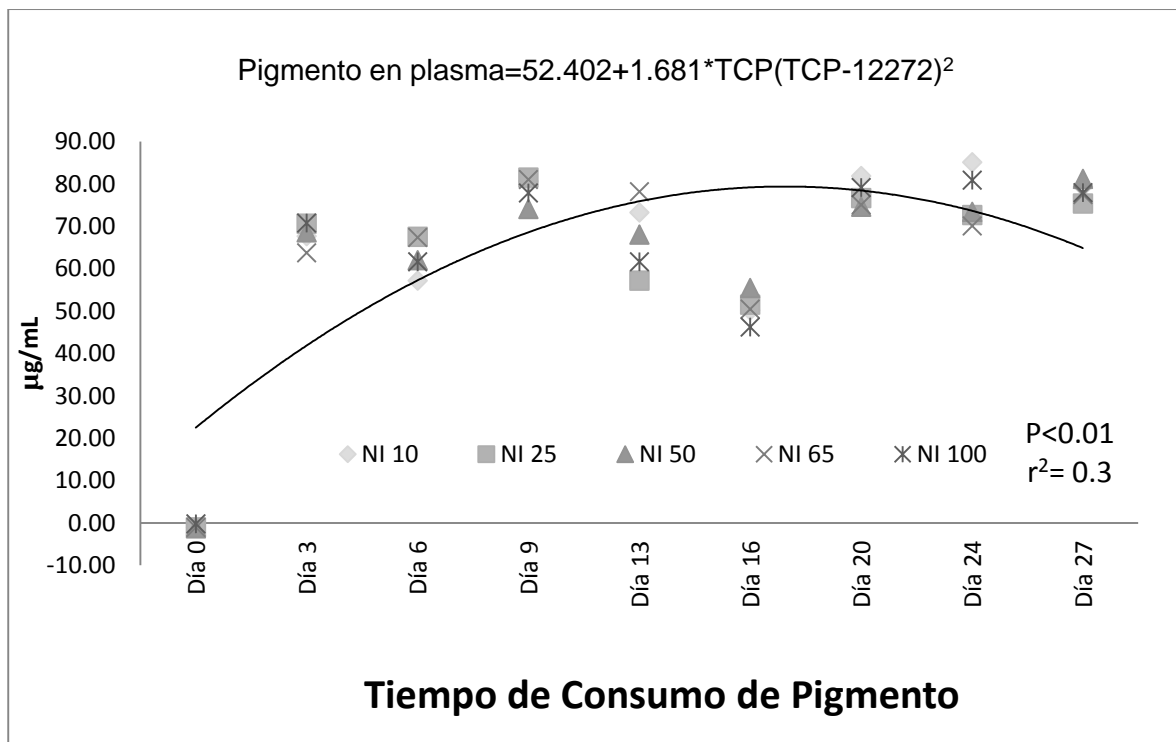


Figura 6. Cuantificación de pigmento en plasma ($\mu\text{g/mL}$), al tiempo de consumo de pigmento (días), con diferentes niveles de iluminación (%).

Amarilleamiento cutáneo

No se encontró efecto de los diferentes NI natural en el amarilleamiento cutáneo (b^*) a los 28 días (49 días de edad); pero se observó diferencia significativa entre sexos ($P < 0.05$), donde las hembras presentaron valores mayores (19.5 en b^*) que los machos (17.7 en b^*) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Respuesta de pigmento amarillo en piel b* al tiempo de consumo de pigmento (días) a diferentes niveles de iluminación (%) en una caseta de ambiente natural.

NI	H	M	Promedio
10	18.8±0.6	17.1±0.6	18.0±0.4 ^a
25	21.3±0.6	17.7±0.6	19.5±0.4 ^a
50	18.7±0.6	18.2±0.6	18.5±0.4 ^a
65	19.6±0.6	18.0±0.6	18.8±0.4 ^a
100	19.2±0.6	17.3±0.6	18.2±0.4 ^a
Promedio	19.5±0.3 ^a	17.7±0.3 ^b	

Promedio ± error estándar.

No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (P>0.05).

Lux y luz UV

En el Cuadro 6 se observan los valores promedio de los lux y de los rayos UV, que penetraban en la caseta de ambiente natural con diferentes NI (%). En donde se observa que en los lotes que tenían una malla sombra plástica con menor cierre de tejido, permitían la entrada de una mayor cantidad de luz y a su vez de luz UV. En tanto que la malla sombra plástica con mayor cierre de tejido presentan valores promedios menores. Para el caso del NI de 100%, donde no se usó malla sombra, se encontraron los valores superiores de lux y de luz UV.

Cuadro 6. Valores promedio de lux y de luz UV en casetas de ambiente natural con diferentes niveles de iluminación (%).

Lux			
NI (%)	H	M	Promedio
10	30.75±12.36	25.54±12.36	28.14±8.74 ^e
25	68.15±12.36	56.66±12.36	62.41±8.74 ^d
50	165.02±12.36	163.02±12.36	164.02±8.74 ^c
65	214.25±12.36	218.77±12.36	216.51±8.74 ^b
100	237.46±12.36	255.18±12.36	246.32±8.74 ^a
Promedio	143.12±5.53 ^a	143.83±5.53 ^a	
Luz UV			
NI (%)	H	M	Promedio
10	0.0002±0.001	0.0001±0.001	0.0001±0.001 ^e
25	0.0004±0.001	0.0002±0.001	0.0003±0.001 ^d
50	0.0018±0.001	0.0021±0.001	0.0020±0.001 ^c
65	0.0023 ±0.001	0.0023 ±0.001	0.0023 ±0.001 ^b
100	0.0039±0.001	0.0040±0.001	0.0039±0.001 ^a
Promedio	0.0017±0.001 ^a	0.0017±0.001 ^a	

Promedio± error estándar.

Distintas literales en fila o columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

DISCUSIÓN

Parámetros productivos

Los parámetros productivos de los pollos de engorda machos y hembras, criados en casetas de ambiente natural con diferentes NI natural (%), y alimentados con dietas que contenían 90 ppm de xantofilas *Tagetes erecta*, no fueron afectados. La ganancia de peso, el consumo de alimento y la conversión alimenticia se encuentran dentro de los parámetros de la estirpe (Cobb, 2013), ya que en el estudio se emplearon dietas en harina.

Estudios realizados por varios autores, con referencia al comportamiento de los parámetros productivos de pollos alimentados con xantofilas en su alimento, han comprobado que las xantofilas, como aditivos sensoriales, no repercuten el comportamiento productivo de los pollos de engorda (Pérez-Vendrell *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2004; Castañeda *et al.*, 2005; Muñoz, 2012; Tepox, 2013).

Es posible, que por el fotoperiodo (14 horas de luz natural) que hubo durante el transcurso del experimento, no se haya encontrado efecto ($P > 0.05$) en los parámetros productivos a los diferentes NI (%), que se utilizaron en las casetas para la crianza de las aves (en donde la intensidad mínima promedio fue de 28 lux y la máxima de 246 lux); debido a que la intensidad de la luz mínima necesaria para estimular el consumo de alimento en las aves es muy baja (Ringer, 1971; Bennett y Cuthill, 1994; Rozenboim *et al.*, 1999; Lewis y Morris, 2000; Lien *et al.*, 2008). No existe un parámetro establecido para el NI de las casetas de ambiente natural; sin embargo se coincide que al inicio de la crianza del pollo se debe de iniciar con NI altos, conforme el ave va creciendo los NI disminuyen (Olanrewaju, *et al.*, 2010; Gallo, 2011). En trabajos sobre comportamiento animal en casetas de ambiente controlado, en lo que atañe a las aves, se ha trabajado con intensidades de luz desde 0.4 y 0.5 lux (Ringer, 1971; Khosravina, 2007; Olanrewaju, *et al.*, 2010). Por otro lado se ha demostrado que los NI altos con luz artificial las 24 horas provocan anomalías oculares (Wathes *et al.*, 1982).

En un estudio realizado por Janky *et al.*, (1985), donde trabajaron con dos NI artificial (1.6 y 21.5 lux) los parámetros productivos no se vieron afectados.

Digestibilidad, cuantificación de xantofilas en plasma y amarilleamiento cutáneo

Como se había establecido anteriormente, las xantófilas son absorbidas por la pared intestinal, para luego ser transportadas en sangre, y finalmente ser almacenadas en los tejidos del ave (tejido adiposo subcutáneo, piel y los tarsos) principalmente en forma esterificada (Tyczkowski y Hamilton, 1986 a, Tyczkowski y Hamilton, 1986b, Tyczkowski y Hamilton, 1986c y Tyczkowski y Hamilton, 1986d).

Los datos de digestibilidad ileal aparente son semejantes a los hallados por Tepox, (2013) para el nivel de 92 ppm de xantófilas (digestibilidad aparente 77.61%) . A diferencia de Tyczkowski y Hamilton (1986a), quienes expresaban que la absorción es un proceso insaturable; Allen (1992) explica que el sistema se satura con 100 ppm de xantófilas, Parker (1996) supone que esta saturación se debe a la baja incorporación de las xantófilas a las micelas o la limitada capacidad de traslocación intercelular.

Janky *et al.*,(1980), en un estudio donde utilizaron sombra plástica de 42 y 89%, no encontraron efecto a los diferentes NI para los resultados de PP .

En cuanto a los datos de la cantidad de PP obtenidos, fueron más altos que los reportados por otros estudios (Fletcher *et al.*, 1977; Castañeda *et al.*, 2005; Tepox, 2013); es posible que esta diferencia se deba a la metodología utilizada para la determinación del PP. En el caso particular del estudio realizado por Tepox (2013), las aves fueron criadas en jaula y los parámetros productivos se midieron cada semana, lo que pudo generar mayor estrés en las aves por el manejo. Allen (1992) menciona que con diferentes niveles de inclusión de xantófilas reporta, para el caso del nivel más bajo (100 ppm), siendo 76.67 µg promedio, dato que es 10 µg superior a los resultados promedio obtenidos para los diferentes NI por hembra y macho con 90 ppm de pigmento adicionado en las dietas.

La luteína en el plasma es transportada por lipoproteínas de baja densidad hacia los tejidos, en donde es re-esterificada por enzimas locales, para ser depositada (Tyczkowski y Hamilton, 1986a; Tyczkowski y Hamilton, 1986b).

La superioridad en la cantidad de PP en machos se puede deber a que, las hembras depositan una mayor cantidad de lípidos, y por ende una mayor cantidad de carotenoides. Por lo tanto la cantidad de PP en hembras es inferior que en machos.

En estudios realizados por Fletcher *et al.*, (1977) y por Janky *et al.*, (1980), al exponer a pollos de engorda a diferentes NI, encontraron un efecto a los NI más altos. Janky *et al.*, (1980), especifican que los NI utilizados fueron de 1.6 y 21 lux; por lo cual puede ser que en este estudio, al tener como valor mínimo (28.14 lux) una cantidad superior a lo utilizado por Janky *et al.*, (1980) no se haya encontrado efecto.

Por otro lado Fletcher (1981), al realizar un estudio donde se determinó la influencia de alimento expuesto a la luz solar (antes de proporcionarlo a las aves) sobre la pigmentación del pollo; precisa que se puede dar un cambio del pigmento, en el alimento, influido por la luz. En estudios recientes se ha demostrado que la exposición de los pigmentos a la luz induce rupturas con una consiguiente formación de compuestos incoloros (Britton, 1995; Méendez-Martínez *et al.*, 2004; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007b).

Es posible que los NI natural no hayan sido lo suficientemente bajos, para encontrar alguna respuesta. Por lo que se recomienda, en estudios posteriores, utilizar NI inferiores en casetas de ambiente natural; así como también NI en casetas de ambiente controlado. Considerando las fuentes de iluminación, como una probable influencia en el amarilleamiento de la piel del pollo de engorda.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos bajo las condiciones experimentales empleadas se puede concluir:

- Los parámetros productivos de los pollos de engorda Cobb a los 49 días de edad no fueron afectados por los NI natural de 14 horas diarias (ganancia de peso, consumo de alimento e índice de conversión, además del consumo de xantofilas).
- Los NI natural no afectaron la concentración de xantofilas en el plasma.
- Se obtuvo una mayor concentración de xantofilas en plasma en hembras que en machos.
- Los NI natural (10, 25, 50 65 y 100 %) que se obtuvieron a través de la apertura de la malla, no influyeron en el amarilleamiento cutáneo.
- Las hembras pigmentaron más que los machos.

BIBLIOGRAFÍA

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Method of Analysis of AOAC* 15th edn. AOAC International , Arlington, VA, 1991.

Alaluf, S., Heinrich, U., Sthal, W., Tronnier, H. y Wiseman, S. 2002. Dietary carotenoids contribute to normal human skin color and UV photosensitivity. *Journal Nutrition*, Volumen 132, pp. 399-403.

Allen, P., 1987. Physiological responses of chicken gut tissue to coccidial infection comparative effect of *Eimeria acervulina* and *Eimeria mitis* on mucosal mass, carotenoid content, and brush border enzyme activity. *Poultry science*, Volumen 66, pp. 1306-1315.

Allen, P., 1992. Effect of coccidiosis on the distribution of dietary lutein in the chick. *Poultry science*, Volumen 71, pp. 1457-1463.

Baker, R. y Günter, C., 2004. The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefit from their inclusion into products for human consumption. *Trends in Food Science and Technology*, Volumen 15, pp. 484-488.

Bennett, A. & Cuthill, I., 1994. Ultraviolet vision in birds: what is its function?. *Vision research*, 34(11), pp. 1471-1478.

Botella, P. y Rodríguez, M., 2006. Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods. *Physiologia Plantarum*, Volumen 126, pp. 369-381.

Breithaupt, 2007. Modern application of xanthophylls in animal feeding- a review. *Trends in Food Science and Technology*, Volumen 18, pp. 501-506.

Breithaupt, D., Weller, P. & Grashorn, M., 2003. Quantification of carotenoids in chicken plasma after feeding free or esterified lutein and capsanthin using high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-mass spectrometry analysis. *Poultry Science*, Volumen 82, pp. 395-401.

Britton, G., 1983. *The biochemistry of natural pigments*. First ed. Great Britain: Cambridge University Press.

Britton, G., 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The FASEB Journal*, Volumen 9, pp. 1551-1558.

Castañeda, M. P., Hirschler, E. M. y Sams, A. R., 2005. Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and syntetic pigments. *Poultry Science*, Volumen 84, pp. 143-147.

Chichester, O. O., 1981. *Carotenoids as colorants and vitamin A precursors* Preface Page xv. New York: Academic Press.

Clotault, J. Peltier, D., Berruyer, R., Thomas, M., Briard, M. y Geoffriau, E. 2008. Expression of carotenoid biosynthesis genes during carrot root development. *Journal of experimental botany*, 59(13), pp. 3563-3573.

Cobb, M., 2013. *Manual Cobb-vantress*. [En línea] Available at: www.cobb-vantress.com/.../broilernutrit2004.pdf [Último acceso: 21 enero 2012].

Cuca, M., Ávila, E. y Pro, A., 2009. *Alimentación de las aves*. Texcoco, México: Universidad Autónoma de Chapingo.

Delgado, F., Paredes, O. y Ávila, E., 1998. Effects of sunlight illumination of marigold flower meals on egg yolk pigmentation. *Journal Agriculture Food Chemistry*, Volumen 46, pp. 698-706.

Endler, J. A., 1993. The colour of light in forest and implications. *Ecological Monographs*. Volumen 63. pp. 1-27.

Fletcher, D., 1981. the effect light exposure on feed in broiler pigmentation. *Poultry science*, Volumen 60, pp. 68-75.

- Fletcher, D., Janky, D. y Harms, R., 1977. The influence of light on broiler pigmentation. *Poultry Science*, Volumen 56, pp. 953-956.
- Fletcher, L. y Papa, M., 1986. The effect of saponification on the broiler coloring capability of marigold extracts. *Poultry Science*, Volumen 65, pp. 1708-1714.
- Fraser, P. y Bramley, P., 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Reserch*, Volumen 43, pp. 228-265.
- Gallo, B., 2011. *Sistemas Dark house para pollo de engorde*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires- Buenos Ares- Argentina , s.n.
- Griminger, P., 1976. Lipid metabolism. In *Avian Physiology*. P. Sturkie, ed. pp 232-252. New York: Springer-Verlag
- Hencken, H., 1992. Chemical and physiological behavior of feed carotenoids and their effects on pigmentation. *Poultry Science*, Volumen 71, pp. 711-717.
- Hudon, J., 1994. Biotechnological applications of reserch on animal pigmentation. *Biotech adv*, Volumen 12, pp. 49-69.
- INEGI, 1992. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. En: *Tlahuac: Cuaderno de información básica*. México DF: s.n.
- Jagger, S., Wiseman, J., Cole, D. 1991. Evaluation of inert markers for the determination of ileal and faecal apparent digestibility values in the pig. *British Journal of Nutrition*. Volumen 52, pp. 215-225
- Janky, D., Fletcher, D., Voitle, R. y Harms, R., 1980. The influence of the light transmission properties of plastic window coverings on broiler pigmentation. *Poultry Science*, Volumen 59, pp. 1350-1352.
- Janky, D. y Harms, R., 1983. Influence of canthaxanthin supplementation on broiler pigmentation in open and windowless houses. *Poultry Science*, Volumen 62, pp. 2192-2194.

- Janky, D., Fletcher, D., Voitle, R. y Harms, R., 1985. The influence of the different xanthophyll-containing feedstuffs on pigmentation of broilers reared in open and windowless houses. *Poultry Science*, Volumen 64, pp. 925-931.
- Khosravinina, H., 2007. Preference of broiler chicks for color of lighting and feed. *The journal of poultry science*, Volumen 44, pp. 213-219.
- Kong, C. y Adeola, O., 2010. Apparent ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for white pekin ducks. *Poultry Science*, Volumen 89, pp. 545-550.
- Krinsky, N., 2002. Possible biologic mechanisms for protective role of xanthophylls. *Journal Nutrition*, Volumen 132, pp. 540s-542s.
- Krogdahl, A., 1985. Digestion and absorption of lipids in poultry. *Journal Nutrition*, Volumen 115, pp. 675-685.
- Lewis, P. y Morris, T., 2000. Poultry and colored light. *World's Poultry Science Journal*, Volumen 56, pp. 189-207.
- Lien, R., Hess, B., McKeen, S. y Bilgili, S., 2008. Effect of light intensity on live performance and processing characteristics of broiler. *Poultry Science*, Volumen 87, pp. 853-857.
- Leone J. L. 1973. Collaborative study of the quantitative determination of titanium dioxide in cheese. *Journal of the Association of Official analytical Chemists*. 56: 535-537
- Maddocks, S., Cuthill, I., Goldsmith, A. y Sherwin, C., 2001. Behavioural and physiological effects of absence of ultraviolet wavelengths for domestic chicks. *Animal behaviour*, Volumen 62, pp. 1013-1019.
- Martín M. M. 2006 El Manual de la Iluminación. Manuales de diseño ICARO de Calidad Ambientalen la Edificación. Volumen I. Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.

Martínez, M., Cortés, A. y Ávila, E., 2004. Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel del pollo de engorda. *Técnica Pecuaria México*, 42(1), pp. 105-111.

Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M. y Heredia, F. J., 2007a. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(2), pp. 109-117.

Meléndez-Martínez, A., Vicario, I. y Heredia, F., 2004. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos.. *Archivos latinoamericanos de nutrición* , 54(2).

Meléndez-Martínez, J. A., Britton, G., Vicario, I. M. y Heredia, F. J., 2007b. Relationship between the colour and the chemical structure of carotenoid pigments. *Food chemistry*, Volumen 101, pp. 1145-1150.

Moller, A. P. Biard, C., Blount, J.D., Houston, D. C., Ninni, P., Saino y Surai, P.F. 2000. Carotenoid-dependent signals: indicators of foraging efficiency, immunocompetence or detoxification ability?. *Avian and Poultry Biology Reviews*, Volumen 11, pp. 137-159.

Montgomery, D. y Runger, G. 1996. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. México D.F. McGraw-Hill Interamericana.

Muñoz, J., Fuente, B., Hernández, X. & Ávila, E., 2012. Skin pigmentation in broiler chickens fed various levels of metabolizable energy and xanthophylls from *Tagetes erecta*. *J. Appl. Poult. Res.*, Volumen 21, pp. 788-796.

Myers, W., Ludden, P., Naygihugu, V. y Hess, B., 2004. A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *Journal Animal Science*, Volumen 82, pp. 179-183.

- Olanrewaju, H., Purswell, J., Collier, S. & Branton, S., 2010. Effect of ambient temperature and light intensity on physiological reactions of heavy broiler chickens. *Poultry Science*, Volumen 89, pp. 2688-2677.
- Owens, C., Alvarado, C. y Sams, A., 2010. *Poultry meat processing*. Second edition ed. s.l.:CRC Press Taylor y francis group.
- Parker, R., 1996. Absorption, metabolism, and transport of carotenoids. *FASEB J*, Volumen 10, pp. 542-551.
- Pérez-Vendrell, A. M. y otros, 2001. Influence of source and ratio of xanthopyll pigments on broiler chicken pigmentation and performance. *Poultry Science*, Volumen 8, pp. 3320-326.
- Petrone, M., Aceves, M. G. y García, A. R., 2003. *Fisiopatología de la pigmentación en aves domésticas*. México D.F., IX Jornadas Médico Avícolas.
- Pfander, H., 1992. Carotenoids: an overview. *Methods in Enzymology*, Volumen 213, pp. 3-13.
- Place, A. R., 1996. Birds and lipids: living off the fat of the earth. *Poultry and Avian Biology Review*. Volumen 7. pp. 127-141.
- Prescott, N. y Wathes, C., 1999. Reflective properties of domestic fowl (*Gallus g. domesticus*), the fabric of their housing and the characteristics of the light environment in environmentally controlled poultry houses. *British Poultry Science*, Volumen 40, pp. 185-193.
- Prescott, N., Wathes, C. y Jarvis, J. R., 2003. Light, visión and the welfare off poultry. *Animal Welfare*. Volumen 12. pp. 269-288
- Rangel, C., Botello, E., Jiménez, H., Rico, R. y Navarrete, J. 2008. Optimización del proceso de tratamiento enzimático de la flor del cempasúchil para la extracción de xantófilas. *BioTecnología*, 12(1).

Ravindran, V., Ravindran, G. y Bryden, W., 2005. Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens. *Animal science*, Volumen 81, pp. 85-97.

Ringer, R., 1971. Adaptation of poultry to confinement rearing systems. *Journal of Animal Science*, 32(3), pp. 590-598.

Rozenboim, I., Robinzon, B. & Rosenstrauch, A., 1999. Effect of light source and regimen on growing broilers. *British Poultry Science*, Volumen 40, pp. 452-457.

Scott, M. L., Nesheim, M. C. and Young, R. J., 1982. Nutrition of the chicken. 3rd ed., New York USA: ML Scott y Associates.

Tepox, M. A., 2013. Absorción, depósito y eliminación de pigmento con diferentes programas de adición de xantofilas en dietas de pollo de engorda. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 2013.

Titgemeyer, E., Armendariz, C., Greenwood, R. & Loest, C., 2001. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle.. *Journal Animal Science*, Volumen 79, pp. 1059-1063.

Tyczkowski, J. y Hamilton, P., 1986a. Lutein as a model dihydroxycarotenoid for the study of pigmentation in chickens. *Poultry Science*, Volumen 65, pp. 1141-1145.

Tyczkowski, J. y Hamilton, P., 1986b. Evidence for differential absorption of zeacarotene, cryptoxanthin and lutein in young broiler chickens. *Poultry Science*, Volumen 65, pp. 1137-1140.

Tyczkowski, J. y Hamilton, P., 1986c. Canthaxanthin as a model for study of utilization of oxycarotenoids by chickens. *Poultry Science*, Volumen 65, pp. 1350-1356.

Tyczkowski, J., Schaefer, J. y Hamilton, P., 1989. Influence of dietary lipids on pigmentation of young chickens. *Poultry Science*, Volumen 68, pp. 1246-1254.

Tyczkowsky, J. y Hamilton, P., 1986d. Absorption, transport and deposition in chickens of lutein diester a carotenoid extracted from marigol (*Tagetes erecta*) petals. *Poultry Science*, Volumen 65, pp. 1526-1531.

Williams, D. W., 1989. Origin and impact of color on consumer preference for food. *Poultry Science*, Volumen 71, pp. 744-746.

Wathes, C. M., Spechter, H. H. y Bray, T. S. 1982. The effects of light illuminance and wavelength on the growth of the broiler chickens. *Journal Agriculture Science*. Volume 98. pp. 195-201.

Wu, D. y Da-Wen, S., 2013. Colour measurements by computer vision for quality control- a review. *Trends in Food Science and Technology*, Volumen 29, pp. 5-20.