



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**



**ESTRATEGIAS DE PIGMENTACIÓN AMARILLA EN 12 DÍAS EN AGUA Y  
ALIMENTO EN POLLOS DE ENGORDA PARA SU VENTA AL MERCADO**

TESIS

QUE PRESENTA

**CAMPOS PASTRANA XIMENA ARACELI**

PARA OBTENER EL TITULO DE  
MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

ASESORES:

**MSc. ERNESTO ÁVILA GONZÁLEZ**

**DR. ARTURO CORTÉS CUEVAS**

**DR. JOSÉ ARCE MENOCA**

Ciudad de México

Septiembre del 2018



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.

## DEDICATORIA

**Quien decide la aventura del mundo, sabe que su destino es dejarse devorar por su voracidad.**

**Charlotte Bontë**

Al amor de mi vida que desde que entre en su mundo, jamás me abandono...Carmen mi bella madre. Fue y siempre ha sido un arduo camino, y solo tú para tomarme de la mano y mostrarme con palabra y con ejemplo el valor de la vida.

A mi padre Martín, que siempre ha tenido las palabras de guía y poder para hacerlo realidad, ¡Si se pudo!

A mi hermana Talia, por ser la fortaleza y realidad dentro de un mundo sin cordura.

A mi hermano Geovani, por enseñarme las aventuras y locuras que se deben de hacer antes de morir.

A mis hermanos, Tobi, Pelusa y Nala, por mostrarme que el amor verdadero se viste con pelaje y anda en 4 patas.

A mis amigas incondicionales, Sandra, July, Alba y Ely, que llegaron a mi vida justo a tiempo, y que desde entonces no me han dejado sola en ninguna aventura.

Gracias July, sin ti nada sería igual de divertido ¡Tú sabes por qué!

A quien me enseñó que los problemas de la vida siempre se piensan y se resuelven con un helado en la mano, que no vale la pena preocuparse por el futuro, porque al final los verdaderos problemas, serán aquellos que jamás nos imaginamos, por mostrarme que se puede hacer un gran equipo mientras tengas la paciencia y decisión.

A Regina y a Luciana por darme un motivo más de felicidad.

A Víctor Muñoz por las horas incontables llenas de locuras y regaños.

A Aarón López por mostrarme el valor de una risa y la sabiduría desde diferentes ángulos.

A Roberto Zamarripa y Ricardo Jiménez por su bella amistad.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por formarme académica y personalmente, por la oportunidad que me brindaron de ser de sangre azul y piel dorada.

Agradecimientos al Dr. Fructuoso Castañón Castañón de la empresa VEPINSA S.A. DE C.V. por el donativo de los pigmentos y animales para la realización del presente estudio.

Al MSc. Ernesto Ávila González por su guía y paciencia, por encontrar la manera para que esta cabeza necia aprendiera, gracias por ayudarme a alcanzar este sueño.

Al Dr. Carlos López Coello por su exigencia y su fe en mí, por enseñarme que no siempre basta con intentar, hay que lograr ser mejores cada vez, y cada trabajo cuenta desde cero, porque la gente siempre recordará lo que hiciste mal, no por lo que hiciste bien.

Al Dr. José Arce Menocal por permitirme realizar el estudio en la Empresa Integración y Desarrollo Pecuario S.A de C.V.

Al Dr. Arturo Cortes, por las largas horas dedicadas y las charlas innumerables, se merece un premio, gracias por ayudarme a lograrlo.

A la Dra. María del Pilar Castañeda Serrano, por su compartir sus conocimientos y enseñarme pacientemente para hacer de esto un mejor trabajo.

A la Dra. María Antonieta Castello Leyva, a quien le debo el decidir este camino por el que seguirá mi vida, porque con la felicidad el conocimiento siempre llega.

A la Dra. Silvia Ibáñez por ser un pilar en mi formación personal y profesional, por escuchar y aconsejar a cada momento, le debo mucho.

A la Dra Mireya Juárez Ramírez, por enseñarme a amar el trabajo, y hacerlo con pasión y entrega, porque siempre hay que seguir adelante pese a todo, gracias.

Al Dr. Alejandro Bobadilla por creer en mí.

A la Dra Alejandra Mercadillo Sierra por escuchar pacientemente y apoyarme en mis decisiones.

A la Dra. Rosalba Carreón Nápoles por su paciencia y ayuda constante.

Al CEIEPAv por ser parte de mí.

# Contenido

RESUMEN .....	7
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Situación actual .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Importancia del pigmento dentro de la industria avícola para la producción de carne de pollo.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Carotenoides .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4 Clasificación de carotenoides .....</b>	<b>12</b>
<b>1.5 Principales fuentes de pigmento en la alimentación avícola .....</b>	<b>13</b>
1.5.1 Naturales.....	13
1.5.2 Sintéticos.....	14
<b>1.6 Metabolismo, transporte y depósito de las xantofilas .....</b>	<b>14</b>
<b>1.7 Evaluación del color y pigmentación en piel del pollo.....</b>	<b>15</b>
1.7.1 Métodos directos .....	16
<b>1.8 Factores que afectan la pigmentación .....</b>	<b>17</b>
1.8.1 Relacionados al producto pigmentante .....	17
1.8.1.1 Origen .....	17
1.8.1.2 Almacenamiento .....	19
1.8.1.3 Presentación física.....	19
1.8.1.4 Nivel de inclusión de pigmentos en la dieta y tiempo de consumo....	20
1.8.1.5 Interacción con otros ingrediente en la dieta .....	21
1.8.2 Relacionado con el manejo de las aves .....	22
1.8.2.1 Procesamiento .....	22
1.8.2.2 Factores que afectan el consumo de alimento .....	23
1.8.3 Relacionado con aves .....	23
1.8.3.1 Salud intestinal .....	24
1.8.3.2 Edad.....	25
1.8.3.3 Genética .....	25
1.8.3.4 Sexo .....	26
1.8.4 Relacionado con la fabricación de la dieta .....	26
1.8.4.1 Calidad de mezclado.....	26
<b>2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>28</b>

3. OBJETIVOS .....	28
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	29
5. RESULTADOS.....	31
6. DISCUSIÓN. ....	32
7. CONCLUSIONES.....	36
8. REFERENCIAS .....	37
<b>9. CUADROS .....</b>	<b>44</b>
<b>10. FIGURAS.....</b>	<b>50</b>

## **INDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Contenido de xantofilas de algunas fuentes naturales y sintéticas.....	44
Cuadro 2. Métodos directos e indirectos para la evaluación de la pigmentación de la piel del pollo de engorde.....	44
Cuadro 3. Factores que afectan la pigmentación amarilla de la piel del pollo de engorda.....	45
Cuadro 4. Resultados promedio de parámetros productivos de peso corporal (g), ganancia de peso (g) y conversión alimenticia (kg) en pollos durante 12 días de investigación.....	46
Cuadro 5. Resultados promedio de consumo de alimento, agua y xantofilas en 12 días de experimentación.....	47
Cuadro 6. Resultados de pigmentación en pollos de 54 días.....	48
Cuadro 7. Resultados de pigmentación en pollos en el día 54 de edad.....	49

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Propiedades físicas y químicas importantes de los carotenoides.....	50
Figura 2. Clasificación de carotenoides por Estructura Química.....	51
Figura 3. Clasificación de carotenoides por acción pigmentante y en base a su función provitamina A.....	52
Figura 4. Metabolismo de las xantofilas.....	52
Figura 5. Abanicos Colorimétricos que se han empleado para pollo.....	53
Figura 6. Representación de la escala de colores conforme al sistema.....	53

## **RESUMEN**

**CAMPOS PASTRANA XIMENA ARACELI: ESTRATEGIAS DE PIGMENTACIÓN AMARILLA EN 12 DÍAS EN AGUA Y ALIMENTO EN POLLOS DE ENGORDA**



**PARA SU VENTA AL MERCADO** (Bajo la dirección de MSc. Ernesto Ávila González, Dr. Arturo Cortés Cuevas y Dr. José Arce Menocal)

Con el objetivo de evaluar una estrategia de pigmentación amarilla en la piel del pollo en los últimos 12 días del ciclo productivo, para alcanzar un valor mínimo de amarillamiento (b) de 40 en canal fría, mediante la adición de xantofilas amarillas de flor de cempasúchil en altas concentraciones en el agua de bebida y en alimento, se realizó el presente estudio. Se utilizaron 125 pollos de engorda (machos) de la estirpe Ross 308 de 42 a 54 días de edad con un peso corporal inicial promedio de 2.928 kg. Las aves durante su desarrollo (1 a 42 días de edad), no consumieron xantofilas naturales. Se distribuyeron aleatoriamente en un diseño completamente al azar en 5 tratamientos con 5 repeticiones de 5 aves cada una. Los tratamientos consistieron en: 1.-Control sin adición de pigmento en agua y alimento, 2.- Adición de xantofilas en alimento (96 ppm), 3.-Adición de xantofilas en agua (48ppm), 4.- Adición de xantofilas en alimento (110 ppm), 5.- Adición de xantofilas en agua (55ppm). Para los resultados obtenidos de peso corporal, ganancia de peso, consumo y conversión alimenticia no existió diferencia ( $P<0.05$ ) entre tratamientos. El amarillamiento de la piel de la pechuga en canal fría fue mayor ( $P<0.05$ ) en los pollos que consumieron xantofilas en el alimento (96 y 110 ppm) respecto a los que lo recibieron en el agua de bebida (48 y 55 ppm). Se puede concluir que se puede lograr una pigmentación aceptable (40 en base al Colorímetro de Reflectancia) en el mercado durante los últimos 12 días del ciclo mediante la adición de xantofilas en el alimento a una concentración de 110 ppm.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Situación actual**

Actualmente México ocupa el décimo lugar dentro de los países más poblados del mundo, existiendo una población total de 119,938,473 de habitantes, de los cuales el 46.7% se encuentra en pobreza, percibiendo un salario mínimo de 88.36 pesos diarios. Resultando escaso el poder adquisitivo para cubrir las necesidades básicas de bienes y servicios, incluso limitando el acceso a ciertos productos que se encuentran dentro de la canasta básica alimentaria (CBA) donde el huevo y la carne de pollo aportan proteína de excelente calidad a un bajo costo comparado con otros productos proteicos, aunado a que se encuentran entre los alimentos más disponibles (I.N.EG.I, 2015; ONU, 2015; CEPAL, 2017; CONASAMI, 2017; CONEVAL, 2017).

La producción de carne de pollo para la población mexicana es de suma importancia, por lo que, a lo largo de los años la industria avícola se ha convertido en un sector muy importante para México, representando el 63% de la Producción Pecuaria del país, con una tasa de crecimiento media anual del 2.9%, siendo el segmento avícola líder en producción (SAGARPA, 2017; UNA, 2017).

Durante el 2016 la producción de carne de pollo en México, alcanzó alrededor de los 3 millones 175 mil 843 toneladas colocándose en el 6to lugar mundial como productor de carne de pollo mundialmente; a pesar de no estar entre los primeros países consumidores, actualmente existen diversos factores que favorecen el aumento en el consumo, como: disponibilidad, confianza en calidad y frescura del producto, precio accesible ( es la fuente de proteína más barata en México), bajo contenido de grasa y versatilidad en su preparación, que participan, logrando así un consumo promedio de 32.2 kg per capita. Los estados representativos en la producción nacional, son: Veracruz 12%, Aguascalientes 11%, Querétaro 10% y Jalisco 8%, (UNA, 2017).

México ocupa el primer lugar mundial en el consumo de huevo y 4to lugar como productor, con dos millones 731 mil 891 toneladas de huevo para plato, con un consumo de 23.3 kg per cápita, siendo los estados más representativos en la producción nacional, Jalisco con 55%, Puebla 16% y Sonora 8% (SAGARPA, 2017; UNA, 2017).

La producción avícola en México afronta diversos retos que afectan directamente el consumo o preferencia por el producto, como lo es el color de la piel de la carne de pollo (Rivera, 2013).

## **1.2 Importancia del pigmento dentro de la industria avícola para la producción de carne de pollo.**

La pigmentación de los productos avícolas es de gran importancia económica en México, debido a que existe una gran diferenciación del producto por la relación del color con la salud del pollo, existiendo preferencia por el consumidor hacia pollos que tengan la piel y tarsos bien pigmentados, en relación a aquellos que no las tienen o presentan una coloración desuniforme ó más clara. El color es una característica que permite indirectamente catalogar a un pollo como sano, que determina su elección o rechazo por el consumidor, asociando su apariencia el sabor y calidad, a pesar de que el color no necesariamente refleje su valor nutritivo (Cuca *et al*, 2009; Muñoz *et al*, 2012; Scott *et al*, 2007; Tirado, 1991).

En algunos nichos del mercado nacional la población demanda ciertos grados de coloración en la piel del pollo, por lo que es importante cubrir las demandas de un mercado específico para utilizar la cantidad de pigmento necesario. En la industria avícola las dietas formuladas para el pollo de engorda se incluyen ingredientes que contengan xantofilas naturales o pigmento sintéticos para mantener un grado adecuado de pigmentación; por lo que la investigación de productos pigmentantes, busca mejores alternativas que sean efectivas en cuanto absorción y deposición a un bajo costo (Amaya *et al*, 2014; Hernández, 2014; Hernández *et al*, 2005; Nelson *et al*, 1990).

En 1960 en México se desarrolló la tecnología de la pigmentación del pollo de engorda y de la yema de huevo a partir de carotenoides de la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) buscando alternativas para pigmentar los productos avícolas. Añadir carotenoides sintéticos al alimento puede ser una práctica común en la industria de las aves de corral para asegurar la cantidad necesaria para la pigmentación (Hencken, 1992; Cuca *et al*, 2009)

Las principales fuentes pigmentantes naturales empleadas en México para el pollo de engorda son el maíz amarillo, los carotenoides de la flor de cempasúchil y los chiles del género *Capsicum*, así como los pigmentos sintéticos: apoéster y cantaxantina (Cuca *et al*, 2009;)

### **1.3 Carotenoides**

Los carotenoides son compuestos solubles en grasas también conocidos como lipocromos. Son pigmentos naturales con propiedades físicas y químicas que les un importante papel dentro de la naturaleza donde se encuentran extensivamente distribuidos (Figura 1), son sintetizados por gran variedad de plantas algas hongos y bacterias, no sólo son responsables de dar color a frutos, flores y estructuras animales (plumas y picos en aves, exoesqueleto en crustáceos o en la piel de algunos peces), sino son compuestos indispensables para que la fotosíntesis sea viable por su función de captar la energía luminosa, que es transferida a las clorofilas, para posteriormente ser aprovechada( Koutsos *et al*, 2003; Meléndez *et al*, 2007; Fernández, 2010; Carranco *et al*, 2011; Tarique *et al*, 2013; Amaya *et al*, 2014).

Químicamente los carotenoides son tetraterpenos derivados de ocho unidades de isopreno, hidrocarburo de cinco átomos de carbono isopreno (2-metil-1,3-butadieno), que originan un exoesqueleto de 40 átomos de carbono, su estructura básica es lineal o puede tener ciclizaciones, en los extremos se encuentran conectados por una cadena de dobles enlaces conjugados, el cual consiste en alternar enlaces carbono-carbono, simples o dobles, denominada cadena poliénica aunque es mejor conocida como cromatóforo, el cual es responsable de su capacidad de coloración (de rojo, amarillo hasta el púrpura) y de absorber la luz. Se requieren al menos siete enlaces dobles conjugados para que un carotenoide produzca color como el  $\xi$ -caroteno, el cual es amarillo suave, el fitoflueno con cinco de tales enlaces es incoloro (Hencken, 1992; Carranco *et al*; 2011; Meyers, 1998)

Cuando estos dobles enlaces en la molécula cambian de lugar se le conoce como isomeración, obteniendo isómeros *cis* y *trans* haciendo la molécula diferente en cuanto a la solubilidad, estabilidad y características ultravioletas dándole implicaciones a las propiedades para pigmentar, todos los carotenoides usados para la pigmentación presentan una configuración *trans*, debido a su estabilidad y su tonalidad rojiza (Hencken, 1992; Carranco *et al*, 2011; Amaya *et al*, 2014).

A pesar de su gran distribución y su extensa abundancia en una variedad de animales acuáticos, los carotenoides son sintetizados de novo solamente por plantas y algunos microorganismos, por lo que los animales dependen del suplemento de carotenoides en la dieta, teniendo la capacidad de acumularlos en su tegumento. Los animales demuestran un marcado grado de selectividad en la absorción específica de carotenoides o en la transformación metabólica de ellos. Los tipos de pigmentos absorbidos y las tasas de absorción pueden variar considerablemente entre familias y especies (Meyers, 1998)

La presencia de gran número de dobles enlaces hace a los carotenoides sensibles a la oxidación, especialmente en reacciones de foto-oxidación. Las reacciones de oxidación dan lugar en todos los casos a la pérdida de color. Generalmente, existe una gran dependencia entre la velocidad de oxidación y el ambiente en el que se encuentran. Dentro de los alimentos, los carotenoides al vacío son mucho más resistentes a la oxidación que en materiales pulverizados y secos (Calvo, 2004)

#### **1.4 Clasificación de carotenoides**

Se han identificado más de 750 carotenoides, que a lo largo de los años, algunos autores han creado diferentes clasificaciones de los carotenoides dependiendo de su estructura química (Figura 2), función pigmentante y como provitamina A (Figura 3, etc (Meléndez *et al*, 2007; Ofusu *et al*, 2010; Carranco *et al*, 2011; Rosa *et al*, 2012; Sandeski, 2013;

Los carotenoides se pueden encontrar en forma libre o esterificada con una variedad de ácidos orgánicos como palmítico, linoleico y esteárico. Las formas

éster son más estables y resisten la oxidación, sin embargo, son menos biodisponibles, ya que no se absorben (Meléndez *et al*, 2007; Amaya *et al*, 2014)

## **1.5 Principales fuentes de pigmento en la alimentación avícola**

En la producción de carne de pollo, se formulan dietas con ingredientes que contengan xantofilas naturales o se agregan pigmentos sintéticos para mantener un grado adecuado de pigmentación, debido a que los carotenoides no son sintetizados por las aves, éstas dependen del suplemento de carotenoides en la dieta, teniendo la capacidad de acumularlos en su sistema tegumentario (Nelson *et al*, 1990;; Hernández *et al*, 2005; Amaya *et al*, 2014; Hernández, 2014)

En el Cuadro 1, se mencionan las fuentes naturales y sintéticas que actualmente se utilizan para la pigmentación de la piel del pollo.

### **1.5.1 Naturales**

La flor de cempasúchil, maíz amarillo, harina de alfalfa y el gluten de maíz aportan xantofilas del tipo de la luteína, que dan una coloración amarilla en la piel del pollo. En la actualidad, se emplean principalmente extractos saponificados de xantofilas de la flor de cempasúchil, ya que estos extractos tienen mayor actividad biológica que la harina de la flor natural. Es común el empleo de frutos del género *Capsicum*, como el chile rojo (*Capsicum annum*) para la pigmentación roja. (Martínez *et al*, 2004; Cuca *et al*, 2009; Tarique *et al*; 2013)

El contenido de oxicarotenoides de las fuentes naturales fluctúa ampliamente dependiendo de su variedad genética, factores de cultivo y recolección, procesamiento, conservación y almacenamiento (Huyghebaert, 1989; Tirado, 1991). Las xantofilas provenientes de los pétalos de la *Tagetes erecta* contienen alrededor de un 80-90% de luteína, 5% de zeaxantina, y 5-15% de otros carotenoides como; violaxantina, criptoxantina y  $\beta$ -caroteno, los cuales carecen de valor pigmentante para el pollo de engorda (Ávila, 1990).

### 1.5.2 Sintéticos

Son productos de síntesis química que inician a partir de moléculas como la  $\beta$ -ionona (proveniente del citral, constituyente del aceite de limón) o a partir del acetileno, o de la acetona. Los pigmentos sintéticos tienen una alta concentración, mínima variación, estabilidad, respuesta lineal progresiva –resultados predecibles a medida que se aumenta la dosis-. Los pigmentos sintéticos tienen un costo elevado por unidad de medida, pero en cuanto a la inclusión en las dietas, por su eficacia representa un menor costo al ser adicionados en pequeña cantidad (Klaur y Bauernfeind, 1981; Huyghebaert, 1989; Tirado, 1991; Englmaierová *et al*, 2013)

### 1.6 Metabolismo, transporte y depósito de las xantofilas

Los carotenoides se encuentran unidos a la fracción lipídica del tejido vegetal, por medio de enlaces glucosídicos o esterificados como monóesteres o diésteres a ácidos grasos. Muchos carotenoides tienen un radical (-OH) y un radical (-COOH) formando un éster con diferentes ácidos grasos, como las xantofilas (Pfander, 1992).

Las xantofilas son sustancias liposolubles por lo que siguen la misma ruta de la digestión de los lípidos (Figura 4), siendo necesaria la acción de la bilis para emulsionar las grasas, de manera que puedan someterse a la acción enzimática (Herdt, 2009).

La absorción puede depender de la forma en que se presentan los carotenoides (forma libre o esterificada), aproximadamente el 90% de las xantofilas que contiene la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) se encuentran en forma esterificada, donde es importante señalar que las formas esterificadas se absorben menos en el intestino, por ello se depositan menos en la piel del pollo de engorda debido a que necesitan una mayor actividad de la bilis; por lo que el proceso de saponificación (carotenoides en forma libre) mejora su absorción y deposición (Scheidt 1998; Breithaup *et al*, 2003; Wu *et al*, 2009)

La asimilación de estos compuestos liposolubles se divide en 4 fases (Herdt, 2009)

1. Emulsión
2. Hidrólisis
3. Formación de micelas
4. Absorción

Las xantofilas junto con los lípidos, la emulsión de las grasas por los ácidos biliares, al reducirse el tamaño de las partículas de grasa existe una mayor superficie de exposición a la lipasa pancreática, dando como resultado ácidos grasos libres, las xantofilas son hidrolizadas e incorporadas a micelas lipídicas en el intestino delgado teniendo una mayor absorción en yeyuno e íleon, una pequeña cantidad se absorbe en duodeno por difusión pasiva a través de las vellosidades intestinales; una vez dentro del enterocito, se re-esterifican nuevamente y se unen a lipoproteínas de alta densidad (HDL), que transportan aproximadamente 90% de los carotenoides mientras que las de baja (LDL) el resto, luego se ligan con la lipoproteína A-1 que las transporta por vía sanguínea al hígado, el cual en condiciones normales retiene cierta cantidad de xantofilas en forma libre y muy poco esterificadas, en general las reintegra a la circulación con mismas lipoproteínas transportadoras para enviarlas a los tejidos blanco tales como la piel y tarsos, cuando las xantofilas entran a los sitios donde serán depositadas son re-esterificadas por enzimas locales (Vera, 1987; Breithaupt *et al*, 2003; Fernández, 2000; Cortés, 2005;; Johnson, 2010;).

Para la eficiente deposición de los pigmentos, se necesita que el pollo de engorda tenga un sistema gastrointestinal sano para su metabolismo, y lograr una absorción y una mejor distribución del pigmento lo largo de la piel, principalmente en forma esterificada.

## **1.7 Evaluación del color y pigmentación en piel del pollo**



El color es la propiedad de como la luz es reflejada por un objeto y es emitida por la superficie. Existen métodos directos e indirectos para evaluar la pigmentación de la piel del pollo, como se describen en el Cuadro 2. (Fletcher, 1984; Fletcher, 1992).

### 1.7.1 Métodos directos

**-Abanico colorimétrico:** Son apoyos visuales como los de la Figura 5, los cuales se presentan en forma de abanicos o reglas con patrones de color establecidos, con una puntuación visual a través de escalas numéricas donde las tonalidades varían del amarillo pálido hasta el naranja intenso, la desventaja de este método es la inexactitud asociada al error humano, fatiga, variabilidad en la iluminación, las diferentes ediciones del abanico, cambios ligeros en el color de las escalas (Piracés, 1991).

**-Colorimetría de reflectancia:** Método con objetivo de medición del color donde se ocupan tres impulsos luminosos, determina la reflectancia en cuanto a longitudes de onda predefinidas que se usa para expresar y calcular el color. Pueden usarse equipos portátiles o fijos, permitiendo una evaluación estandarizada, inmediata y computarizada.

La Comisión Internacional de la Iluminación (C.I.E) definió un espacio de color conocido como el sistema CIELab, el cual mide numéricamente la tridimensionalidad de un color utilizando las siguientes variables (Figura6) (Janky, 1986)

- ✓ **Luminosidad ( $L^*$ ):** Indica la presencia o ausencia de luz abarcando desde el negro absoluto con un valor de 0 a 100 (iluminación total).
- ✓ **Amarillamiento ( $b^*$ ):** Las lecturas van de -60 a +60, donde la tendencia negativa corresponde a la tonalidad azul y las positivas pertenecen al color amarillo.
- ✓ **Enrojecimiento ( $a^*$ ):** La escala va de -60 a +60, los valores negativos corresponden a la tonalidad verde, mientras que los valores positivos corresponden a los rojos.

Tiene la ventaja que poseer patrones de referencia y expresa en forma numérica lo cual facilita entender las diferencias en los colores, y como desventaja es el costo del equipo (Tirado, 1991)

## **1.8 Factores que afectan la pigmentación**

La uniformidad de la pigmentación de la parvada es tan importante como el que ésta sea homogénea en la pigmentación de la piel de cada pollo, ambas características indican buenas prácticas de manejo de la parvada y del procesamiento de la canal, a diferencia de aquellos productos con una desuniformidad en la pigmentación, que se relacionan con productos menos deseables o con parvadas enfermas. En caso de que la parvada haya presentado problemas que afecten la pigmentación y se observe mala uniformidad en la pigmentación de la piel de la canal, es posible que en la comercialización se presenten castigos económicos en el precio por kg de carne. El pigmentar el pollo implica un costo considerable dentro de la industria avícola ya que se requieren altas concentraciones de xantofilas, lo que representa un 8-10% del costo total de la dieta (Hernández, 2014). Por lo cual es necesario prestar atención a los diferentes factores que pueden afectar la pigmentación (Cuadro 3).

### **1.8.1 Relacionados al producto pigmentante**

#### **1.8.1.1 Origen**

Los oxicarotenoides como fuente de pigmento en la industria avícola pueden ser naturales tales como la luteína (pigmento amarillo) y zeaxantina (pigmento naranja), presentes en vegetales como la alfalfa, maíz amarillo, flor de cempasúchil y capsantina presente en chiles para una pigmentación roja, entre las fuentes de pigmentación sintética se encuentran la cantaxantina para dar una base roja y etil éster  $\beta$  apo-8-caroteno conocido como apoéster para el color

amarilla (Scott *et al*, 1968; Tirado, 1991; García *et al*, 2002; Amaya *et al*, 2014).

Los pigmentos naturales se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, existiendo diferencia dentro de los ingredientes, debido a la variación biológica (genética de la semilla, factores de cultivo (cosecha) y procesamiento de extracción (desnaturalización durante el proceso de fabricación) (Scott *et al*, 1968; Fletcher, 1977; Huyghebaert 1989; Tirado, 1991; Siri *et al*, 2007). Los factores que influyen en la presencia de carotenoides en los productos naturales, son, la genética o variedad de la flor, el manejo pre cosecha, estado de madurez, así como las operaciones de procesado y conservación. Durante el procesamiento la oxidación y los cambios estructurales al aplicar calor son los principales factores que los alteran. El empaclado en atmósferas libres de oxígeno ayuda a mantener el contenido de carotenoides. Sin embargo, el tipo de suelo, riego y fertilización no afectan significativamente el contenido de éstos. (SAN, 2012)

A diferencia de los pigmentos sintéticos que tienen una alta concentración con una mínima variación, mayor estabilidad con una respuesta lineal progresiva, resultados predecibles a medida que se acumula la dosis (Klaui y Bauernfeind, 1981; Huyghebaert, 1989; Tirado, 1991; Englmaierová, 2013)

Algunos autores han señalado que los pigmentos sintéticos se absorben mejor a nivel intestinal, pero los pigmentos naturales alcanzan mejores tonalidades de amarillo en la piel del pollo. (Castañeda *et al*. 2005)

La cantidad que se añade de xantofilas amarillas sintéticas en la dieta es menor (30%) que cuando se incluyen algún ingrediente con xantofilas naturales. La dosis de xantofilas amarillas naturales para

pollos de engorda es de 80-90 mg/kg en dietas finalizadoras y de 8-10 mg/kg para gallina de postura para una coloración amarilla mayor a 40 b\* de acuerdo al colorímetro de reflectancia en pollo de engorda y 12 de acuerdo al abanico de DSM en la yema de huevo. Se puede adicionar pigmento sintético rojo o cantaxantina a razón de 1 o 2 ppm para una tonalidad amarilla-naranja (Cuca et al, 2009).

### **1.8.1.2 Almacenamiento**

Los carotenoides son muy susceptibles a condiciones como altas temperaturas, humedad, luz natural y el oxígeno, lo que provoca que el proceso de oxidación se acelere, produciendo una variación en la capacidad pigmentante (Fletcher, 1997; Fernández, 2000).

Sirri *et al.* (2007) mencionan que el contenido de xantofilas naturales en 180 muestras sin antioxidante, fue de 30 % menos que la calculada, por la pérdida durante el almacenamiento; su producto comercial con una concentración de 20g/kg, al inicio de la prueba 14.7g/kg, luego de diez semanas 10.4g/kg y después de 20 semanas redujo a 8.9 g/kg de xantofilas.

### **1.8.1.3 Presentación física**

Los productos que se derivan de la *Tagetes erecta* se comercializan de dos formas:

- Líquida: Es una emulsión de xantofilas saponificadas (no esterificadas), se utiliza agua además de un surfactante, con lo que favorece la digestión al preemulsionar la grasa, lo que mejora la aplicación en los alimentos (Vicente, 2000; Fernández, 2000; Cortés, 2005; Amaya *et al*, 2014).
- Solida: Dentro de esta presentación, se encuentra el polvo y/o en perlas, algunos autores señalan como desventaja de este

tipo de presentación, la desigualdad del tamaño de las partículas (Vicente, 2000; Fernández, 2000)

#### **1.8.1.4 Nivel de inclusión de pigmentos en la dieta y tiempo de consumo.**

Debido a que las aves no sintetizan los carotenoides, pero si son capaces de absorberlos y modificar su estructura mediante un proceso de metabolismo oxidativo para acumularse en los tejidos de depósito, el grado de pigmentación de la piel del pollo será directamente proporcional a la cantidad de xantofilas suministradas en el alimento (Sirri *et al*, 2007). Bilgili *et al.* (2009) señalaron que a mayor cantidad y en más días se ofrezca el alimento con pigmento amarillo, mayor será el depósito de éste en la piel.

En la producción de pollos de engorda en México, es común agregar el pigmento al alimento durante las últimas 4 semanas del ciclo productivo, en 2005 Cortés, sugirió que es importante asegurar un consumo de xantofilas en un periodo desde el día 21 hasta los 49 días de edad (28 días máximo). En el proceso de pigmentación los diversos tejidos responden de manera distinta; en la grasa, el metabolismo es rápido, por lo que un cambio de color se observa a corto plazo (un día), en la epidermis hay un proceso de descamación, por lo que la expresión o cambio de color es menos rápido que en la grasa (Cuca *et al*, 2009), por lo que en diversas investigaciones se han probado diferentes tiempos y dosis para lograr una pigmentación adecuada.

Cuca *et al.* (2009) mencionan que se puede incluir una dosis de 10-12 gramos de xantofilas de *Tagetes erecta* por tonelada de alimento (dosis baja), desde el primer día de vida hasta las 4 semanas de edad el pollo.

Martínez et al. (2004) mencionan que una concentración de 80 ppm de xantofilas amarillas saponificadas de flor de cempasúchil en el alimento finalizador de pollos de engorda, con un consumo de 346 gramos de xantofilas por ave, se obtiene 44.76 unidades de amarillamiento (UA) en la canal fría,

Muñoz (2012) indica que 23.24 UA se obtienen con una dosis de 162 ppm en los últimos 14 días del ciclo productivo, con un consumo de xantofilas de 0.438 g/ave respectivamente, en el mismo estudio reportó que la disminución por cada día que las aves no consumen el pigmento es de 0.11 UA y que la pérdida de la pigmentación es más severa en las hembras que en los machos, también señala que las hembras ganan 1.73 UA más que los machos.

#### **1.8.1.5 Interacción con otros ingrediente en la dieta**

Existen ingredientes que normalmente se incluyen en la formulación de las dietas de pollo de engorda, que pueden beneficiar o afectar los pigmentos durante su interacción, tales como:

- **Aceites o grasas:**

En 1990 Schaeffer y Halmiton demostraron que la adición creciente de grasa de 2 a 6% mejora la absorción. Cuando los niveles son mayores, incrementa la velocidad de tránsito, por lo que existe un efecto negativo.

- **Vitamina E:** Se agrega en las dietas de las aves por su característica antioxidante, cuando el nivel en que se suplementa no es suficiente el organismo moviliza los carotenoides para que sean utilizados como antioxidantes, por lo cual disminuye el proceso de depósito de los carotenoides en los tejidos (Fernández, 2000) por lo que es común el empleo de la etoxiquina y el BTH - butilhidroxitolueno- para prevenir la oxidación de las grasas, xantofilas y vitaminas

liposolubles, considerando que entre mayor sea la inclusión de grasa o aceite en la dieta, el nivel de vitamina E en el alimento debe ser mayor (Ávila, 1999)

- **Vitamina A:** La deficiencia de la vitamina A ocasiona alteraciones en la concentración de pigmentos en algunos tejidos, pero concentraciones mayores a 25,000 UI/kg de vitamina A, provoca una competencia en absorción con los carotenoides. (Fernández, 2000)

## **1.8.2 Relacionado con el manejo de las aves**

### **1.8.2.1 Procesamiento**

Durante el procesamiento de los pollos de engorda existen procedimientos que pueden afectar negativamente la pigmentación de la piel de la canal, tales como la captura, transporte, aturdimiento, escaldado, el desemplume mecánico y el enfriamiento.

En la captura y el transporte, un manejo inadecuado de las aves, pueden causar hemorragias, la degradación de la hemoglobina a biliverdina o bilirrubina, provoca una coloración verdosa en la piel, afectando la pigmentación amarilla que se busca en una canal de calidad; también esta afectación puede presentarse durante el aturdimiento, si este no se realiza con los voltios necesarios (10-25 voltios dependiendo del tamaño del ave) o cuando no se realiza un desangrado correcto (Harms et al, 1997; Cortés, 2005; Bilgili et al, 2009).

El escaldado es el procedimiento en donde las aves son sumergidas en agua caliente, con el objetivo de facilitar la extracción de las plumas, existen dos tipos de escaldado: escaldado suave ,53°C por 120 segundos y el escaldado fuerte 62°C por 45 segundos, es importante señalar que a temperaturas mayores de 60° C se ocasiona

un daño en la epidermis por lo tanto el pigmento se ve afectado, lo que se conoce como “pollo tallado” debido a la apariencia moteada de la piel, por la pérdida del 30% aproximadamente de los depósitos cutáneos de las xantofilas. El tipo de desplumadora es otro factor para el cuidado de la epidermis del pollo, las desplumadoras que contienen muchos dedos en sus masas serán más agresivas en las zonas donde el pollo ya ha sido desplumado, por lo que se recomiendan desplumadoras que contengan de 6-8 dedos (Cortés 2005; Bilgili et al, 2009; Cuca et al, 2009)

### **1.8.2.2 Factores que afectan el consumo de alimento**

Las prácticas de manejo que se realizan en la producción de pollos de engorda, tienen impacto sobre la calidad de la pigmentación; aquellos pollos con una reducción del consumo de alimento, tendrán una disminución en el consumo de xantofilas, por lo que la pigmentación será menor (Fernández, 2000; Vicente, 2000).

Temperaturas por encima de la zona de confort (21°- 24°C), las aves reducen su consumo de alimento, por lo que baja el grado de pigmentación de la piel de los pollos, al ingerir menos pigmento (Seeman, 2000), con una disminución de 0.11 UA, por día que las aves no consumen el pigmento, siendo más severa la pérdida de la pigmentación en las hembras que en los machos (Muñoz, 2009)

### **1.8.3 Relacionado con aves**



### **1.8.3.1 Salud intestinal**

Salud intestinal es el funcionamiento óptimo del tracto intestinal, el cual es uno de los factores principales del desempeño y rentabilidad de las aves, por lo que la integridad intestinal desde el nacimiento del pollito hasta el final del ciclo es fundamental, para obtener el máximo potencial genético de crecimiento y aprovechamiento del uso del material, alimento e instalaciones, logrando tener una producción rentable (Barragán, 2012).

Es necesario estimular el desarrollo temprano, íntegro y completo del aparato gastrointestinal (Wattagnet, 2011), siendo que la integridad intestinal es esencial para:

- La digestión y absorción óptima de los nutrientes del alimento
- Restringir el paso a agentes patógenos entéricos
- Permitir que el ave alcance su potencial genético (máximo crecimiento y uso de nutrientes)
- Obtener una pigmentación adecuada
- Evitar el exceso de humedad en las excretas

Enfermedades intestinales (Barragán, 2012), que causen daño a la mucosa intestinal, afectarán a la parvada en:

- Salud y bienestar general de la parvada
- Ganancia de peso
- Conversión alimenticia
- Rendimiento de la canal
- Mecanismo de absorción y depósito de los carotenoides (Pigmentación )
- Rentabilidad

Enfermedades como la coccidiosis (Pérez-Vendrell *et al*, 2001; Schaeffer y Halmilton, 1990), infección causada por parásitos del género *Eimeria*, que se caracteriza por dañar el epitelio intestinal, afecta negativamente la digestión y absorción de nutrientes, por lo tanto también del pigmento, causando una disminución de peso en la parvada, presentándose desuniformidad de peso y pigmentación amarilla de la piel (Allen, 1987; Ruff y Fuller, 1975; Fadly *et al*, 2008).

*Eimeria acervulina*, disminuye el pH en intestino delgado, lo cual interfiere con la absorción de carotenoides (Allen, 1987) En la infección por *Eimeria tenella*, los niveles de carotenoides en el plasma disminuyen, porque en el día 5 al 7 post infección produce hemorragias y provocan pérdida de sangre en ciegos, por lo tanto también de carotenoides (Ruff y Fuller, 1975).

En casos de micotoxinas, como las alfatoxinas que causan daño hepático, alterando la esterificación de la luteína, disminuyendo su transporte y absorción; al existir una baja disponibilidad de las formas esterificadas, aumenta el "secuestro" de luteína en el hígado, disminuyendo el depósito de pigmento en la piel. La severidad del daño depende de la concentración y tiempo de consumo de las micotoxina (Schaeffer y Hamilton 1990).

### **1.8.3.2 Edad**

Los pollos de engorda depositan más grasa conforme la edad aumenta, lo cual permite una mayor deposición de los pigmentos. Es importante considerar que entre más grande el pollo en peso es mayor la superficie de piel la cual pigmentar (Ávila, 1990; Bilgili *et al*, 2009).

### **1.8.3.3 Genética**

Las estirpes cuentan con diferentes capacidades genéticas para absorber, transportar y depositar los pigmentos en la piel, hecho

probablemente relacionado con la diferente cantidad de grasa subcutánea entre cada estirpe (Harms *et al*, 1997; Bilgili *et al*, 2009)

#### **1.8.3.4 Sexo**

Varios autores han señalado que las hembras alcanzan una mayor pigmentación cutánea en comparación con los machos, ligando esta característica a su mayor conversión alimenticia y capacidad de depósito de las grasas. Las xantofilas al ser sustancias liposolubles se fijan mejor en la grasa, por lo que la pigmentación es mayor en las hembras, también se ha sugerido que esta diferencia de pigmentación entre machos y hembras, se debe a las hormonas sexuales femeninas (Tyczkowski y Hamilton, 1986; Hudon, 1994; Martínez *et al*, 2004; Castañeda *et al*, 2005; Cortés, 2005; Muñoz, 2009).

Muñoz (2009) señaló que con una dieta que contenía niveles de xantofilas de *Tagetes erecta* a una concentración de 75 hasta 172 ppm durante 14 días, las hembras pigmentaron 1.77 UA más que los machos, en otro experimento realizado por el mismo autor adicionando 85 ppm de xantofilas de flor de cempasúchil a dietas con diferentes niveles de energía metabolizable (2800 a 3400 kcal/kg) la ganancia en el color de amarillamiento de la piel en las hembras fue de 1.73 mayor respecto a los machos.

### **1.8.4 Relacionado con la fabricación de la dieta**

#### **1.8.4.1 Calidad de mezclado**

Es importante cuidar que la adición y el mezclado del pigmento en las dietas, para evitar errores y variaciones (Tirado, 1991).

Para el caso de los pigmentos en polvo es recomendable que se agregue en la premezcla, para mejorar el proceso de mezclado de los pigmentos (Cortés, 1998).

Debido a que existen factores que afectan la pigmentación es necesario crear y hacer uso de alternativas que nos ayuden en casos de emergencia, cuando no logra alcanzar 40 unidades de amarillamiento en la piel del pollo; de tal manera que en pocos días de consumo de alimento se logre una pigmentación de la piel aceptable por el consumidor (Cortés, 2005; Cortés, 1998; Nogareda *et al*, 2015).

## **2. HIPÓTESIS**

La adición de xantofilas en el alimento (96 y 110ppm) y en el agua de bebida (48 y 55ppm) durante los últimos 12 días del ciclo productivo del pollo (de 42 a 54 días de edad) no afecta el rendimiento productivo, ni el consumo de agua.

Con la adición de xantofilas en el alimento (96 y 110ppm) y en el agua de bebida (48 y 55ppm) durante los últimos 12 días de engorda de los pollos (42 a 54 días de edad), se logra alcanzar un valor de amarillamiento en la piel del pollo pre escaldado, de 30 b\* y pos enfriamiento, un valor de 40 b\* en base al colorímetro de reflectancia.

## **3. OBJETIVOS**

Evaluar el rendimiento productivo, consumo de alimento y agua en pollos de engorda de 42 a 54 días de edad, alimentados con dos concentraciones de xantofilas amarillas en el agua y dos en el alimento.

Medir la pigmentación amarilla de la piel en canal pre escaldado y pos enfriamiento de los pollos de 42 a 54 días de edad alimentados con dos concentraciones de xantofilas amarillas en el agua y dos en el alimento durante los últimos 12 días antes de salir al mercado.

#### **4. MATERIAL Y MÉTODOS.**

El trabajo se desarrolló en una granja avícola experimental, localizada en el Municipio de Tarímbaro, Michoacán a una altura de 1940 metros sobre el nivel del mar, registrando una temperatura media anual de 17.7°C.

En el presente estudio se emplearon los procedimientos de alojamiento, manejo y eutanasia aprobados por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de las Animales Experimentales (CICUAE) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, basado en la Norma Oficial Mexicana (NOM-033-SAG/ZOO-2014).

Se utilizaron 125 pollos de engorda (machos) clínicamente sanos, de la estirpe Ross 308 de 42 días de edad con un peso corporal inicial promedio de 2.928 kg. Las aves durante su desarrollo (1 a 42 días de edad), no consumieron pigmento sintético ni natural; su dieta fue a base de maíz blanco-soya, lo que se considera como una “dieta blanca”. Se distribuyeron aleatoriamente en un modelo completamente al azar en 5 tratamientos con 5 réplicas de 25 pollitos cada una. La duración de la prueba fue de 12 días, tiempo estimado para alcanzar el valor de amarillamiento (b) de 40 en canal fría, tomando en cuenta que es el nivel aceptado para la comercialización de pollos en los estados del centro del país (Martínez *et. al*, 2004), se evaluó la pigmentación de la piel in vivo, en el apterilo lateral del pollo (vena de la grasa), con un Colorímetro de Reflectancia Minolta CR-400, en todos los tratamientos en el día 54 de edad. Las dietas fueron a base de maíz blanco y pasta de soya, más la adición de pigmento como se señala en el Cuadro 4.

Las adiciones del pigmento en el agua de bebida fueron la mitad de las dosis utilizadas en el alimento, debido a que en general el consumo de agua por parte de las aves es el doble de lo que comen. La dieta base se formuló cubriendo las recomendaciones de nutrientes que señala el Manual Ross 308 (2017). El alimento se elaboró en harina con base en maíz blanco + pasta de soya con la inclusión de ácidos grasos acidulados como fuente de energía y como fuente de pigmento amarillo se emplearon; xantofilas amarillas, saponificadas de flor de cempasúchil líquidas (*Tagetes erecta*) 15g de Doroxan L11 PLUS por cada 1kg de alimento , se

agregaron previamente con aceite y posteriormente se mezcló con el alimento; en el caso del agua de bebida, el Doroxan L11 PLUS se agregó 11g de xantofilas por litro de agua, el cual se añadió directamente en 20 litros de agua. El alimento en presentación harina y el agua de bebida, se proporcionaron a libre acceso, el estudio se realizó en una caseta de ambiente natural con corrales de piso de cemento y paja de trigo como material de cama.

Se llevaron registros de ganancia de peso, consumo de alimento, consumo de agua, consumo de xantofilas en agua o alimento, conversión alimenticia y porcentaje de mortalidad.

Al término de la prueba, todos los pollos de cada tratamiento se ayunaron por 8 horas y se procesaron un total de 125 aves (25 por tratamiento), de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana, NOM-033-ZOO-1995 Norma Oficial Mexicana Sacrificio Humanitario de los Animales domésticos y silvestres. Se midió la coloración amarilla de la piel de la pechuga en las canales en caliente y en frío (la canal caliente se sometió durante 24 horas en un contenedor con hielo, hasta que se alcanzó una temperatura de 0° C). La medición de la pigmentación de la piel se realizó con un Colorímetro de Reflectancia Minolta CR400 en la escala CIELab\*

Los datos obtenidos de las variables productivas se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar, en caso de existir diferencia  $P < 0.05$  entre tratamientos, se realizó una prueba de comparación de medias mediante la prueba de Tukey. Para los análisis estadísticos se empleó el software (StatSoft. Statistica 10.0, 2011) bajo el siguiente modelo.

$$y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$y_{ij}$  = Variable a evaluar

$t_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$\mu$  = Media general

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

## 5. RESULTADOS.

Los datos obtenidos de parámetros productivos, en 12 días de experimentación se pueden observar en el Cuadro 5, donde se aprecia que a pesar de que existió diferencia numérica en el peso corporal, con ganancia de peso y conversión alimenticia, no existió diferencia estadística ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos, en pollos de 42 a 52 días de edad. Donde los pollos de los tratamientos 4 y 5 tuvieron el mayor peso corporal con respecto a los demás tratamientos con un valor de 4148 g, posteriormente el tratamiento 2 con aves de 4131g, el tratamiento 1 con un peso de 4050 g y el tratamiento 3 con 4030 g; en cuanto a ganancia de peso los tratamientos 4 y 5 tuvieron el mismo la misma ganancia de 1220 g, y el tratamientos 2 con 1203 g, el tratamiento 1 con 1122 g y 1102 g el tratamiento 3; para la conversión alimenticia el tratamiento 3 obtuvo el mayor valor con 2.11 kg, respecto a los demás tratamientos, seguido del tratamiento 1 con 2.09 kg, los tratamientos 2 y 4 con 1.96 kg, y al final el tratamiento 5 con 1.94 kg.

En el Cuadro 6 se encuentran los datos de consumo de alimento, de agua y xantofilas, se puede observar que en consumo de alimento no existió diferencia ( $P>0.05$ ) entre tratamientos, siguiendo el mismo comportamiento que las variables productivas; sin embargo, en consumo de agua existió diferencia ( $P<0.05$ ) entre tratamientos con mayor consumo de agua en el tratamiento 4 con 6335 ml, con respecto a los tratamientos, el 1 con una diferencia de 638 ml, 2 con 797 ml, 3 con 841 ml y 5 con 907 ml, no significativos. En cuanto al consumo de xantofilas, los resultados indicaron un mayor consumo en el tratamiento 5 con 298mg de xantofilas saponificadas, seguido de los tratamientos 3 y 4 con 263 mg, obteniendo el mismo consumo de xantofilas y con el menor consumo el tratamiento 2 con 226 mg.

El Cuadro 7, se muestran los resultados promedio de amarillamiento (b)\* de la piel en vivo, canal pre escaldado y pos enfriamiento. Se puede notar que existió diferencia ( $P<0.01$ ) entre tratamientos en el amarillamiento de la piel en vivo, con mayor pigmentación en el tratamiento 4 con 110 ppm de xantofilas en alimento seguido por el tratamiento 2 con 96 ppm; seguidos por el tratamiento 5 y 3, con 55



ppm y 48 ppm de xantofilas en agua respectivamente, y por último el tratamiento 1 al que no se le añadió xantofilas amarillas en el alimento ni el agua. Para la variable de amarillamiento (b)\* en canal pre escaldado, los datos fueron significativos ( $P < 0.01$ ) entre tratamientos, con una mayor pigmentación en el tratamiento 4, con un valor de 38.3 b\*, seguida del tratamiento 2 con 34.3 b\*, posteriormente los tratamientos en los que se adiciono las xantofilas amarillas saponificadas en el agua, obteniendo un valor de 30.4 b\* en el tratamiento 3, y 30.0 b\* para el tratamiento 5, y por último el tratamiento 1 con un valor de 14.1 b\*. Los resultados de amarillamiento (b)\* en canal pos enfriamiento se puede observar que el mayor valor fue de 42.2 en el tratamiento 4, seguido por el tratamiento 2 con 39.6, el tratamiento 5 con un valor de 35.5, por último el tratamiento 3 con 35.4.

## 6. DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos para conversión y ganancia de peso, no muestran diferencia a pesar de ser numéricamente diferentes, esto probablemente debido al escaso número de pollos empleados, sin embargo los datos del en el presente estudio coinciden con varios autores, quienes han demostrado que la adición de pigmento en la dieta no ejerce ningún efecto sobre el valor nutritivo, o sobre el comportamiento productivo (Martínez *et al*, 2004, Castañeda, 2005; Fernández, 2010;).

En cuanto al consumo de agua, se presentó diferencia entre tratamientos, teniendo una mayor ingesta de agua en el tratamiento 4 con un consumo de 6335 ml, no obstante, este resultado probablemente se debió a una mayor disposición de agua en el tratamiento con 110 ppm de xantofilas en alimento, ya que las aves se alojaron en las mismas condiciones de humedad y temperatura, con la misma dieta base de maíz blanco y soya, compartiendo instalaciones con separaciones entre tratamientos y bajo los mismos manejos.

Martínez *et al*, (2004) señalan que en el pollo de engorda se requiere de 80 ppm de xantofilas amarillas por tonelada de alimento de la 4ª a la 7ª semana del ciclo

productivo, para alcanzar un valor de amarillamiento de 40 b\* en la piel del pollo, fundamentando que los pollos en las últimas 4 semanas de edad consumen más alimento (5 kg) por lo que, se incrementa la cantidad de xantofilas consumidas.

Considerando que el objetivo en el ciclo productivo del pollo de engorda, es conseguir el mayor peso al mercado a la edad más temprana posible, se requiere de un consumo de pigmento a mayores contracciones en menor tiempo, para llegar a un mejor y mayor depósito del pigmento en la piel de los pollos, debido a que las xantofilas absorben, circulan en sangre y se depositan en la piel (Cuca et al, 2009).

Por lo que en el presente estudio se adicionaron xantofilas amarillas saponificadas en alimento y en agua de bebida, se observó una mayor pigmentación en los tratamientos en los que fue administrado el pigmento en el alimento, en relación con en los que se adicionó en agua, probablemente estos resultados se deben a que las xantofilas son sustancias liposolubles, siguiendo la misma ruta de digestión de los lípidos, existiendo una mejor digestión y absorción de estas, cuando son acompañadas con grasa la cual se requiere en la dieta de los pollos como fuente de energía, sin embargo, es importante señalar que el empleo de xantofilas saponificadas, en el alimento, beneficia la aplicación, y permite una homogeneidad del pigmento en la dieta al mezclarse previamente con el aceite, estos resultados corroboran el por qué la vía más utilizada para las xantofilas es el alimento (Breithaupt, 2003; Cortés, 2005; Fernández, 2000; Johnson, 2010; Vera, 1987).

En cuanto a los datos de amarillamiento de la piel del pollo en canal fría (42.2 b\*), de los tratamientos que se les adicionó xantofilas amarillas en el alimento, cumplió con las exigencias de pigmentación en el mercado en el centro del país, siendo que el mínimo recomendado es de 40 b\* (Fernández, 2001), algunos estudios han evaluado la adición de pigmento en diferentes concentraciones. Los datos del presente estudio coinciden con los obtenidos por Muñoz *et al.* (2012) quienes señalan que se deben suplementar dosis altas de pigmento mayores a 110 ppm

en la dieta, en las últimas dos semanas antes salir al mercado como una estrategia de pigmentación.

En cuanto al consumo de xantofilas, los datos no mostraron significancia estadística entre tratamientos, sin embargo es importante señalar que la adición de xantofilas fue distinta en cada uno de ellos; la dosis que se añadió en el agua de bebida fue el 50% de la concentración de la que se agregó en el alimento, considerando que la ingesta de agua es el doble de lo que consume de alimento el pollo (FAO, 2013).

A pesar de que la dosis que se añadieron de xantofilas en el agua fue menor (48 y 55 ppm) respecto a la dosis en alimento (96 y 110 ppm), se pudo observar que el amarillamiento en la piel de los pollos fue mayor en los tratamientos donde se agregaron xantofilas en el alimento con un valor de 42 y 39 b\* con base al Colorímetro de Reflectancia. Esto posiblemente se debe a que las xantofilas son mayormente digeridas y absorbidas cuando estas se unen a los lípidos que contiene el alimento; a pesar de que los pollos tuvieron un menor consumo de xantofilas. Sin embargo, existen pocas referencias respecto a la adición de xantofilas amarillas en el agua de bebida.

Aun cuando las dosis de xantofilas evaluadas en el agua de bebida, no alcanzaron los valores requeridos por la zona centro, el amarillamiento en canal fría fue adecuado para otras zonas del país donde la pigmentación de la piel es más baja. Definiendo esta vía de administración de las xantofilas como una alternativa para lograr una pigmentación en la piel del pollo, a pesar de no ser la mejor vía de administración.

En comparación a otras publicaciones realizadas, el presente estudio se efectuó en pollos clínicamente sanos, de un peso mayor a 2.5kg, lo que implica una mayor superficie de piel para pigmentar, en un corto lapso de tiempo (12 días), aunado a que se emplearon exclusivamente machos, siendo que las hembras ganan 1.73 UA más de pigmentación, se obtuvo un valor de amarillamiento aceptable de 42 b\* a una concentración de 110 ppm de xantofilas saponificadas, lo que equivale a un

consumo de 263 mg de xantofilas amarillas (Muñoz, 2012) . Lo cual coincide con los resultados con Sirri *et al* (2007) quienes señalaron que el grado de pigmentación de la piel del pollo será directamente proporcional a la cantidad de xantofilas suministradas en el alimento.

Entre algunos de los estudios que buscan alcanzar una pigmentación aceptable por el mercado de la zona centro del país, se encuentra Muñoz (2012) mencionando que para alcanzar un valor de amarillamiento de 23.24 en canal caliente, es suficiente con una dosis de 162 ppm, con un consumo de 399 y 438 gramos por ave, en los últimos 14 días del ciclo productivo.

## **7. CONCLUSIONES**

Se puede concluir que se puede lograr una pigmentación amarilla aceptable (40 en base al Colorímetro de Reflectancia), en el mercado durante los últimos 12 días del ciclo mediante la adición de xantofilas de flor de cempasúchil en el alimento a una concentración de 110 ppm; lo equivalente a un consumo de 263 mg de xantofilas amarillas saponificadas de flor cempasúchil (*Tagetes erecta*) por ave.

La adición de pigmento vía alimento, fue mejor alternativa respecto vía en agua en situaciones de pigmentación emergente (12 días).

## 8. REFERENCIAS

1. 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* 66:1306-1315.
2. Amaya E, Becquet P, Carné S, Miralles. 2014. *Carotenoids in animal nutrition*, [eBook] Belgica: FEFANA Working Group Carotenoids. [Http://www.platform-fefana.org/Website/DOCS/2014-12-04\\_booket\\_carotenoid.pdf](http://www.platform-fefana.org/Website/DOCS/2014-12-04_booket_carotenoid.pdf). ISB 978-2-9601289-4-9 [: 18-Octubre-2017].
3. Ávila G. 1990. Pigmentantes en la avicultura. Producción animal en México. A.C. En: Ávila G, Shimada A, Llama G. Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria. Educación continua. 239-250.
4. Barragán I. 2012. Salud intestinal de los pollos de carne .Portal veterinaria albéitar. Ciudad de México [http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/11356/ARTICULOS-\\_-AVES/la-salud-intestinal-de-los-pollos-de-carne.html](http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/11356/ARTICULOS-_-AVES/la-salud-intestinal-de-los-pollos-de-carne.html) [02-Marzo-2018]
5. Bilgili S, Hess J. 2009. Problemas de la piel en la canal de pollo: causas y soluciones. XLVI Symposium científico de avicultura. Septiembre 29. España.
6. 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* 82:395-401
7. Calvo M. 2004. Bioquímica de los alimentos. México, Distrito Federal. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/pigmentos/carotenoides.html> [10-Febrero-2018]
8. Carranco M, Calvo C, Carrillo D. 2011. Harina de crustáceos en raciones de gallinas ponedoras. Efecto de las variables productivas y evaluación sensorial de huevos almacenados en diferentes condiciones. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45:171-175.
9. Castañeda S, Hirschler EM, Sams AR. 2005. Skin evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poultry Science* 84: 143-147.
10. CEPAL (20-Diciembre-2017) Ciudad de México <https://www.cepal.org/es/comunicados/la-pobreza-aumento-2016-america-latina-alcanzo-al-307-su-poblacion-porcentaje-que-se> (10 Febrero-18)
11. Cheng Y, Shen T, Pang F, Cheng B. 2001. Effects of aflatoxin and carotenoids on growth performance and immune response in mule ducklings. *Comparative Biochemistry and Physiology* 128: 19-26.

12. Comisión Nacional de los Salarios Mínimos (21 - Noviembre - 2017) Ciudad de México. <https://www.gob.mx/conasami/articulos/nuevo-salario-minimo-general-88-36-pesos-diarios?idiom=es> (10 febrero-18)
13. Cortes C. 1998. Análisis de riesgos en puntos críticos de control de la pigmentación de la piel del pollo de engorda. En: Congreso AMENA México.
14. Cortés C. 2005. Factores que afectan la pigmentación. En 1ra Mesa de Discusión AMENA sobre la Producción de pollo de engorda. Juriquilla, Querétaro, 2005. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal.
15. Cuca G, Ávila G, Pro M. 2009. *Alimentación de las Aves*. 2da ed. México: Universidad Autónoma Chapingo, Dirección de Patronato Universitario, Departamento de Zootecnia.
16. Del Villar M, Serrato C, Solano N, Arenas O, Quintana G, Sánchez M, Evangelista L, Jiménez A, Venegas E. 2007. Carotenoides en *Tagetes erecta*, la modificación genética como alternativa. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (2):119 -118
17. Delgado V. 2000. Pigmentos de la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*). Caracterización, fisicoquímica, procesamiento y eficiencia pigmentante. [Tesis Doctoral] Irapuato. Guanajuato. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
18. Englmaierová M, Skřivan M, Bubancová I. 2013. A comparison of lutein spray-dried chlorella and synthetic carotenoids effects on yolk color, oxidative stability, and reproductive performance of laying hens. *Czech J. Anim. Sci.* 58(9):412-419
19. Fadly A, Glisson J, Mc Dougald L, Nolan L, Swayne D. 2008. Protozoan. En: Saif Y, Barners H. Diseases of poultry . Iowa. Iowa State University 1067-1091.
20. FAO. 2013. Disponibilidad de piensos y nutrición de aves de corral en países en desarrollo. Ciudad de México. <http://www.fao.org/3/a-al703s.pdf> (13-Mayo-18)
21. Fernández TS. 2000. Pigmentación en la Avicultura. En: *Memorias del Diplomado en producción Avícola*. México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.
22. Fernández TS. 2010. The basics of pigmentation in broilers and laying hens. En: *31<sup>st</sup> Annual Convention, Western Nutrition Conference*. Canada.
23. Fletcher D. 1992 Methodology for Achieving pigment specifications. *Poultry Science*. 71:733-743
24. Fletcher D. 1997. Factors affecting the measurement and utilization of xanthophylls in the egg yolk and broiler skin. [Thesis Doctoral] Florida: University of Florida.

25. Fletcher D. 1984. Evaluaciones de la pigmentación en aves. En VII Ciclo Internacional de Conferencias sobre avicultura. México. Colegio de postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
26. García E, Mendes A, Pizzolante C, Goncalves H, Oliveira R, Silva M. 2002 Efeito dos níveis de cantaxantina na dieta sobre o desempenho e qualidade de ovos de poedeiras comerciais. *Brazilian Journal of Poultry Science* 4 (1):1-7
27. Hamilton P. 1992. The use of high –performance liquid chromatography for studying pigmentation. *Poultry Science* 71: 718-724.
28. Hencken H. 1992. Chemical and physiological behavior of fed carotenoids and their effects on pigmentation. *Poultry Science* 71:711-17
29. Harms R, Fry J, Mc Pherson. 1977. Evidence of differences in pigmentation among strains and crosses of broilers. *Poultry Science* 56:86-90
30. Herdt T. 2009. Digestión y absorción: los procesos no fermentativos. Barcelona, España. In Cunninham G, Klein G (ed). *Fisiología Veterinaria* Elsevier. pp 337-363
31. Hernández G. 2014. *Pigmentación en la Industria Avícola*. México: BM Editores. <http://bmeditores.mx/pigmentación-en-la-industria-avicola/> [18- Octubre-2017]
32. Hernandez J, Beardsworth P, Weber G. 2005 Egg quality-meeting consumer expectation. *International Poultry Production* 13(3):20-23.
33. Hudon J. 1994. Biotechnological applications of research on animal pigmentation. *Biotechnology Advances* 12:49:69
34. Huyghebaert G. 1989. Avances recientes en la pigmentación de la yema del huevo y la piel del pollo. En: IX Ciclo de conferencias Internacionales sobre avicultura. AMENA (Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal) México, DF.
35. INEGI. 2015. México. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/estructura/> (10- Febrero-18)
36. ITPSA (26-Febrero-2014) Ciudad de México [http://www.itpsa.com/images/stories/pdfs/Articulo\\_Carotenoides\\_en\\_Reproductoras.pdf](http://www.itpsa.com/images/stories/pdfs/Articulo_Carotenoides_en_Reproductoras.pdf) (11- Abril-18).
37. Janky DM. 1986. The use of the Minolta reflectance chroma meter II™ for pigmentation evaluation of broiler skanks. *Poultry Science* 65 (3) 491-496.
38. Johnson M, Krover D. 2010. Carotenoids in Poultry Nutrition. En 31st *Anal Conference, Western Nutrition Conference*. Canada.
39. Klaui H, Bauernfeind J. 1981. Carotenoids as food color. En: J. Bauernfeind (ed) *Carotenoids as colorants and vitamin a precursors*. USA: Academic Press. pp 47-317
40. Krinsky N. 2001. Carotenoids as antioxidants. *Nutrition* (10):815-7.



41. Konica Minolta. 2007. Precise color communication, color control from perception to instrumentation. Japón.
42. Koutsos A, Clifford J, Clavert C, Klasing C. 2003. Maternal carotenoid status modifies the incorporation of dietary carotenoids into immune tissues of growing chickens (*Gallus gallus domesticus*). *The Journal of Nutrition* 133:1132–1138
43. La Redacción Proceso [29-Marzo-2016] Ciudad de México. <http://www.proceso.com.mx/435000/18-paises-mayor-pobreza-mexico-se-ubica-en-lugar-numero-13-cepal> (10-Febrero-18)
44. Martínez P. 2003. Efecto de niveles de xantofilas de flor de cempasúchil sobre la pigmentación de la piel del pollo de engorda. [Tesis de Licenciatura] Universidad Nacional Autónoma de México.
45. Martínez P, Cortés C, Ávila G. 2004. Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel de los pollos de engorda. *Técnica Pecuaria México*.;42(1):105-111
46. Marusich W. 1971. Carotenoids. En: *Animal Nutrition Conference*. NC State University.
47. Marusich W. Bauernfeind J. 1981. Oxycarotenoid in Poultry Feeds. J. Bauernfeind (Ed). Carotenoids as Colorants and Precursors. USA: Academic Press. pp 319-462.
48. Meléndez M, Vicario M, Heredia F. 2007. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57 (2): 109-117.
49. Meyers P. 1998. Papel del carotenoide astaxantina en nutrición de especies acuáticas. En: *Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*..
50. Mínguez M, Pérez G, Hornero M. 2006. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples “colorantes” naturales. *CTC Alimentación* 26, 108-113
51. Montilla J, Angulo I. Pigmentantes en raciones para aves. Memorias del IV ciclo de conferencias de producción avícola. [24-25 octubre 1984] Maracay. Venezuela
52. Muñoz D, Fuente M, Hernández V, Ávila G, 2012. Skin pigmentation in boiler chickens fed various levels of metabolizable energy and xanthophylls from *Tagetes erecta*. *Applied Poultry Research* 21(4):788-796.
53. Muñoz D, Tepox P, Jiménez F, Fuentes M, Hernández V, Quiroz P, Ávila G. Modulando la pigmentación amarilla en la piel del pollo de engorda. Memorias de la V Reunión anual de la Asociación de Especialistas en ciencias Avícolas del Centro de México A.C. Marzo 2012 San Juan del Rio Querétaro. México. Asociación de Especialistas en Ciencias Avícolas del Centro de México. A. C. 288-303

54. Nelson D, Janky D, Harms R. 1990. A thirteen-day assay for use in pigmentation evaluation of egg yolks. *J. App. Poultry Research*. 69:1610-1613
55. Ninahualpa C. 2018. Efecto de la harina de achiote (*Bixa orellana*) sobre la pigmentación a la canal e inmunoglobulinas en pollos de engorde.[Tesis de licenciatura] Cevallos, Ecuador: Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ciencias Agropecuarias.
56. Noregueda C, Moreno J, Angulo E, Sandmann G, Pertero M, Capell T, Zhu C, Chritou P. 2015. Carotenoid-enriched transgenic corn delivers bioavailable carotenoids to poultry and protects them against coccidiosis. *Plant Biotechnology Journal*, pp1-19. DOI: 10.1111/pbi. 12369.
57. Ofosu I, Appiah-Nkansah E, Owusu L, Apea-Bah F, Oduno I, Ellis O. 2010. Formulation of annatto feed concentrate for layers and the evaluation of egg yolk color preference of consumers. *Journal of Food Biochemistry* 34: 66-77
58. Ognik K, Cholewinska E, Sembra I, Grela E. 2016. The potential of using plant antioxidants to stimulate antioxidant mechanisms in poultry. *World's Poultry Science Journal* 72 : 291-298
59. ONU (1-Diciembre-2015). México. <http://www.onu.org.mx/erradicando-la-pobreza-extrema-y-el-hambre/> (10 febrero-18)
60. Pérez-Vendrell A, Hernández J, Llauro L, Schierle J, Brufau J. 2001. Influence of source and ratio of xanthophyll pigments on broiler chicken pigmentation and performance. *Poultry Science* 80:320-326
61. Pfander H. 1992. Carotenoids: An overview. *Methods in enzymology*. *Poultry Science* 213-312
62. Rincón-Enríquez G., E. E. Quiñones-Aguilar, J. A. Qui-Zapata y M. A. SerratoCruz. 2012. Efectividad biológica de extractos de *Tagetes* spp sobre bacterias fitopatógenas. SNICS-SINAREFI, CIATEJ, México.
63. Rivera S. 2013. Rendimiento productivo y pigmentación de la yema del huevo en gallinas alimentadas con dietas sorgo-soya-DDGS [Tesis de Licenciatura]. Distrito Federal, México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.
64. Rosa A, Scher A, Sorbara J, Boemo L, Forgiarini J, Londero A. 2012. Effects of canthaxanthin on the productive and reproductive performance of broiler breeds. *Poultry Science* 91: 660-666.
65. Ruff M, Fuller H. 1975. Some mechanism of reduction of carotenoids levels in chickens infected with *Eimeria acervulina* or *Eimeria tenella*. *The Journal of Nutrition* 105:1447-1456
66. SAGARPA [03-Enero-2017] Querétaro, México. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/queretaro/boletines/Paginas/001b2017.aspx> (10-Febrero-18)

67. Sandeski L. 2013. Optimización de la pigmentación de la yema de huevo. [Tesis de Maestría]. Sao Paulo, Brasil. Facultad de Medicina Veterinaria de Aracatuba Universidad de Estadual Paulista "Julio de Mesequita Filho".
68. Schaeffer J, Hamilton P. 1990. Effect of dietary lipid on lutein metabolism during aflatoxicosis in young broiler chickens. *Poultry Science* 69 (1) 53-59.
69. Scott M, Ascarelli I, Olson G. 1968 .Studies of egg yolk pigmentation. *Poultry sciencie* 47: 863-872.
70. Schiedt K, Leuenberger FJ, Vecchi M, Glinz E. 1985. Absorption, retention and metabolic transformations of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken. *Pure and Applied Chemistry*. 57 (5): 685-692.
71. Schiedt K. 1998. Absorption and metabolism of carotenoids in birds, fish and crustaceans. Vol 3. Basel Switzerland. Birkhäuser Verlag. 285-352 pp.
72. Seeman m. 2000. Factors which influence pigmentation. [http://lohmann-information.com/content/li\\_24\\_article\\_4.pdf](http://lohmann-information.com/content/li_24_article_4.pdf) [02-Marzo-2018]
73. Sirri F. Iaffaldano N, Minelli G, Meluzzi A, Rosato MP, Franchini A. 2007. Comparative Pigmentation Efficiency of high Dietary Levels of Apo-Ester and Marigold Extract on Quality Trait of Whole liquid egg of two strains of laying Hens. *The Journual of Applied Poultry Reserch* 16:429-337
74. Sociedad Argentina de Nutrición [Diciembre 2012] México. <http://www.sanutricion.org.ar/files/upload/files/carotenoides.pdf> [02-Marzo-18]
75. Tarique M, Yang S, Mohsina Z, Qui J, Zhao Y, Gang C, Ailang C. 2013. Role of carotenoids in poultry industry in China. *The Journal of Nutrition* 3(9): 111-122.
76. Tirado AFJ. 1991. Pigmentos y pigmentación. *En: X Ciclo de Conferencias Internacionales sobre la Avicultura*. México. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal.
77. Tomita Y, Torinuki W, Tagami H. 1988. Stimulation of human melanocytes by vitamin D<sub>3</sub> possibly mediates skin pigmentation after sun exposure. *Journal of Investigative Dermatology* 90:882-884
78. Tourliere M. Progreso (14-FEBRERO-2018) Ciudad de México. <http://www.proceso.com.mx/522580/41-de-los-mexicanos-no-les-alcanza-para-comprar-la-canasta-basica-coneval> (10-Febrero-18)
79. Tyczkowski J, Hamilton B. 1986. Absorption, transport and deposition in chickens of lutein diester a carotenoid extracted from marigold (*Tagetes erecta*) petals. *Poultry Science* 65:1526-1531.
80. UNA. 2017. <http://www.una.org.mx>. [10 febrero-18]
81. Vicente S. 2000. Aspectos básicos sobre la pigmentación en la industria avícola. En Memorias del Diplomado en Producción avícola. México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de México.

82. Vera BJ. 1987. Efecto comparativo de diferentes pigmentos comerciales sobre el pollo de engorda. En: XII Convención anual ANECA 76-90 Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero.
83. Wattaget [31-Agosto-2011]. Ciudad de México <http://www.wattaget.com/25803.html> [02-Marzo-2018]
84. Weber G, Machander V, Schierle J, Aureli R, Roos F, Pérez V. 2013. Tolerance of poultry against an overdose of canthaxanthin as measured by performance, different blood variables and post-mortem evaluation. *Animal Feed Science and Technology*. 186: 91-100.
85. Wu L, Huang X, Shi K, Tan R. 2009. Bioavailability comparison of free and esterified lutein for layer hens. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 11(2).

## 9. CUADROS

**Cuadro 1. Contenido de xantofilas de algunas fuentes naturales y sintéticas**

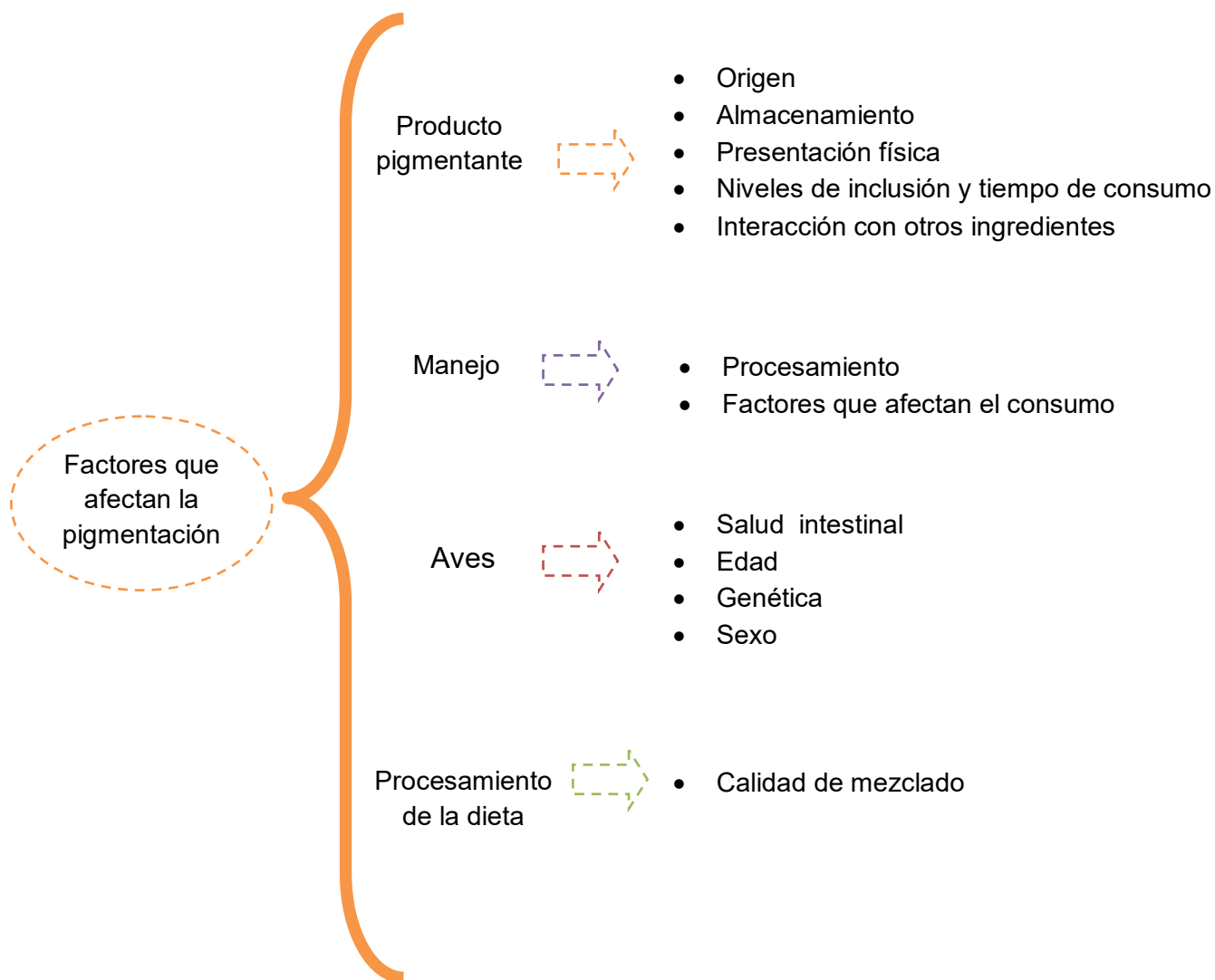
<b>Ingrediente</b>	<b>Contenido de xantofilas (mg/kg de base seca)</b>
<b>Alfalfa deshidratada (20% de proteína cruda)</b>	400-450
<b>Maíz amarillo</b>	20-25
<b>Gluten de maíz amarillo</b>	180-250
<b>Flor de cempasúchil</b>	6,000-10,000
<b>Extracto saponificado de cempasúchil</b>	12,00-40,000
<b>Extracto saponificado de chile</b>	2,500-8,000
<b>Etil éster del ácido <math>\beta</math>-apo-8'carotenoico</b>	10%
<b>Cantaxantina</b>	10%

\*Adaptado de Cuca et al. 2009

**Cuadro 2. Métodos directos e indirectos para la evaluación de la pigmentación de la piel del pollo de engorde.**

<b>Métodos directos</b>	<b>Métodos indirectos</b>
Abanico colorimétrico	Análisis químico de pigmento <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)</li> <li>• iCheck (espectrofotómetro de LED)</li> </ul>
Colorímetro de reflectancia	
Prueba de Rank	

**Cuadro 3. Factores que afectan la pigmentación amarilla de la piel del pollo de engorda.**



\*Adaptación Cuca et al, 2009; Tirado, 1991; Amaya *et al*, 2014

**Cuadro 4. Diseño de los Tratamientos \***

<b>Tratamiento 1</b>	Sin pigmento en agua o alimento (Control negativo)
<b>Tratamiento 2</b>	Adición de pigmento amarillo en alimento 96 ppm
<b>Tratamiento 3</b>	Adición de pigmento amarillo en agua 48 ppm
<b>Tratamiento 4</b>	Adición de pigmento en alimento 110ppm
<b>Tratamiento 5</b>	Adición de pigmento en agua 55ppm

\*Alimento iniciador, crecimiento y finalizador a base de maíz blanco-soya sin pigmentos naturales o sintéticos.

**Cuadro 5. Resultados promedio de parámetros productivos de peso corporal (g), ganancia de peso (g) y conversión alimenticia (kg) en pollos durante 12 días de investigación.**

<b>Tratamientos</b>		<b>Peso Corporal (g)</b>	<b>Ganancia de peso (g)</b>	<b>Conversión alimenticia (kg)</b>
<b>1</b>	<b>Sin pigmento</b>	4050	1122	2.09
<b>2</b>	<b>96 ppm alimento</b>	4131	1203	1.96
<b>3</b>	<b>48 ppm agua</b>	4030	1102	2.11
<b>4</b>	<b>110 ppm alimento</b>	4148	1220	1.96
<b>5</b>	<b>55 ppm agua</b>	4148	1220	1.94
<b>Promedio</b>		4101	1173	2.01
<b>Probabilidad</b>		P>0.202	P>0.189	P>0.156
<b>EMM</b>		0.201	0.180	0.181



**Cuadro 6. Resultados promedio de consumo de alimento, agua y xantofilas en 12 días de experimentación.**

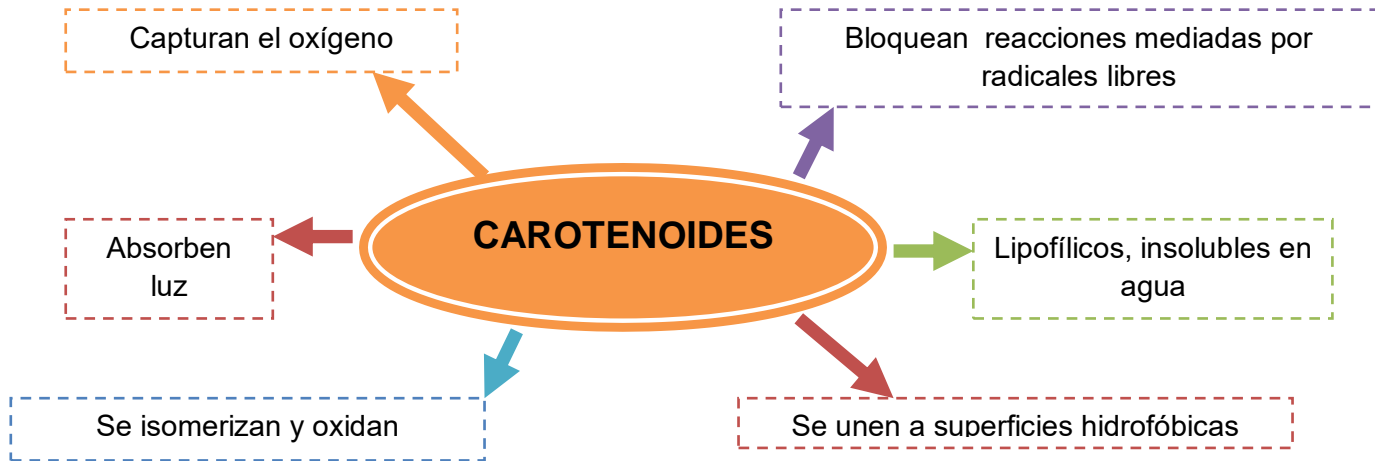
<b>Tratamientos</b>		<b>Consumo alimento(g)</b>	<b>Consumo de agua (ml)</b>	<b>Consumo de xantofilas (mg)</b>
<b>1</b>	<b>Sin Pigmento</b>	2345	5697 b	----
<b>2</b>	<b>96 ppm alimento</b>	2360	5538 b	226
<b>3</b>	<b>48 ppm agua</b>	2330	5494 b	263
<b>4</b>	<b>110 ppm alimento</b>	2388	6335 a	263
<b>5</b>	<b>55 ppm agua</b>	2367	5428 b	298
<b>Promedio</b>		2358	5698 (2.4:1)	
<b>Probabilidad</b>		P<0.238	P<0.01	
<b>EEM</b>		0.250	0.073	

**Cuadro 7. Resultados de pigmentación en pollos en el día 54 de edad.**

<b>Tratamientos</b>		<b>Amarillamiento in vivo (b)*</b>	<b>Amarillamiento canal caliente (b)*</b>	<b>Amarillamiento canal fría (b)*</b>
<b>1</b>	<b>Sin pigmento</b>	0.5 c	14.1 d	17.0 d
<b>2</b>	<b>96 ppm alimento</b>	10.2 b	34.3 b	39.6 b
<b>3</b>	<b>48 ppm agua</b>	9.1 b	30.4 c	35.4 c
<b>4</b>	<b>110 ppm alimento</b>	13.0 a	38.3 a	42.2 a
<b>5</b>	<b>55 ppm agua</b>	9.4 b	30.0 c	35.5 c
<b>Promedio</b>		8.9	30.2	34.8
<b>Probabilidad</b>		(p<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)
<b>EMM</b>		0.40	0.70	0.74

## 10. FIGURAS

Figura 1. Propiedades físicas y químicas importantes de los carotenoides.

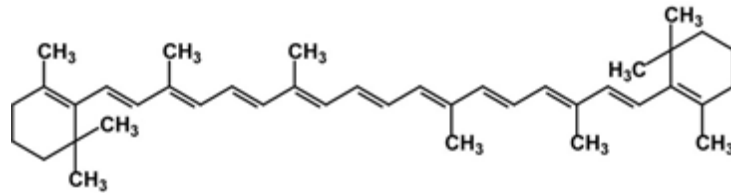


\*Amaya *et al*, 2014.

Figura 2. Clasificación de carotenoides por Estructura Química

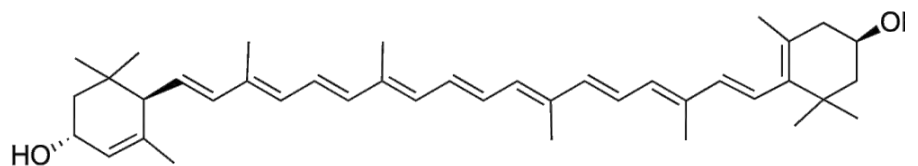
## Estructura Química

- **Carotenos:** Hidrocarburos que carecen de oxígeno. (ej.  $\beta$  caroteno)



$\beta$  caroteno

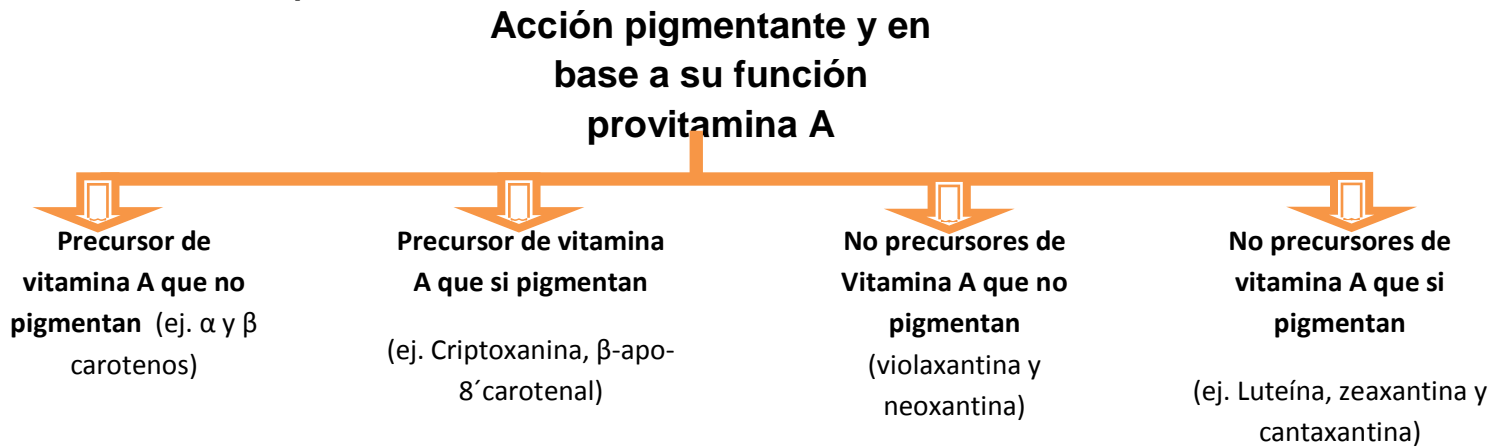
- **Xantofilas:** Presentan moléculas de oxígeno en su estructura, por lo que también son nombrados Oxicarotenoides. (ej. Luteína, zeaxantina, cantaxantina, apo-éster)



Luteína

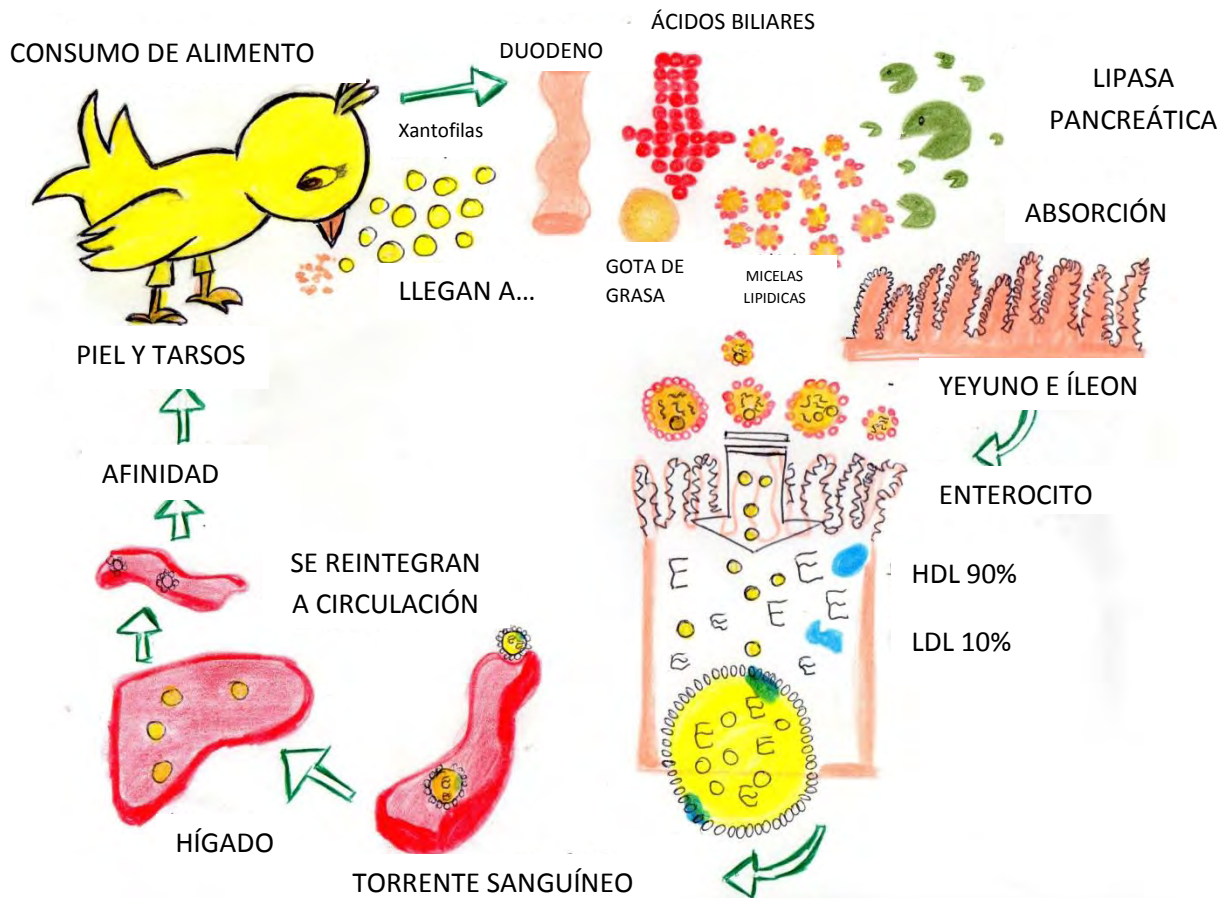
\*Amaya *et al*, 2014

**Figura 3. Clasificación de carotenoides por acción pigmentante y en base a su función provitamina A**



\*Rosa *et al*, 2012

**Figura 4. Metabolismo de las xantofilas**



\*Adaptado de Fernández, 2000

**Figura 5. Abanicos Colorimétricos que se han empleado para pollo**



- A. Abanico colorimétrico para pollo PRODEMEX
- B. Abanico colorimétrico para piel de pollo PURINA
- C. Abanico colorimétrico para yema de huevo. DSM

**Figura 6. Representación de la escala de colores conforme al sistema CIELab. Adaptado de Konica Minolta (2007)**

