

01667  
289°1



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

División de Estudios de Postgrado

## EVALUACION DEL PODER PIGMENTANTE DE LUTEINA Y CAPSANTINA EN POLLO DE ENGORDA Y GALLINAS EN POSTURA CON UN COLORIMETRO DE REFLECTANCIA.

T E S I S

Que para obtener el Grado de:

MAESTRO EN PRODUCCION ANIMAL

P R E S E N T A

Marcos Jesús Becerril García

ASESORES: MSc. Ernesto Avila González  
Ph.D Carlos Vázquez Peláez

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## CONTENIDO

	Pág.
Resumen	i
Datos Biográficos	iv
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Introducción	1
Revisión de la literatura	6
a) Clasificación de los carotenoides	6
b) Fuentes naturales de pigmentos	11
c) Carotenoides de importancia práctica para pigmentar productos avícolas	15
d) Fuentes de pigmentos sintéticos	23
e) Algunos factores que influyen en la pigmentación	24
f) Métodos para evaluar la pigmentación	34
Material y Métodos	43
Experimento 1	43
Experimento 2	49
Experimento 3	54
Resultados y Discusión	58

	Pág. ....
Experimento 1	58
Experimento 2	61
Experimento 3	92
Conclusiones	107
Bibliografía	110

## RESUMEN

BECERRIL GARCIA MARCOS JESUS. Evaluación del poder pigmentante de luteína y capsantina en pollo de engorda y gallinas en postura con un colorímetro de reflectancia (bajo la dirección - de ERNESTO AVILA GONZALEZ Y CARLOS VASQUEZ PELAEZ).

Con el objeto de conocer el poder pigmentante de la luteína y capsantina en la piel, tarsos y yema del huevo con un colorímetro de reflectancia, se realizaron tres experimentos conforme a un diseño completamente al azar; los cuales fueron conducidos, dos con pollos de engorda (4 - 8 semanas de edad) y uno con gallinas Leghorn en producción. En el experimento 1, 200 pollos de engorda (mitad hembras y mitad machos), se distribuyeron en 5 tratamientos con 4 repeticiones de 10 pollos cada una. Los tratamientos consistieron en la adición de 0, 20, 40, 60 y 80 ppm de luteína a una dieta basal (baja en pigmentos), sorgo y pasta de soya. Se utilizó como fuente de luteína a un extracto hidrolizado de flor de compasúchil. Los resultados obtenidos en ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia fueron similares ( $P > .05$ ) entre tratamientos. El color amarillo de los tarsos y la piel de los pollos de engorda fue igual ( $P > .05$ ) para los tratamientos que incluyeron 40, 60 y 80 ppm de luteína. Sin embargo, se encontró que para una -

máxima saturación del color amarillo en la piel se requirieron de 66.8 ppm y en el caso de los tarsos 63.9 ppm de luteína. En el segundo experimento 150 pollos de engorda (hembras y machos) se distribuyeron en 5 tratamientos con 3 repeticiones de 10 aves - cada una. Una dieta basal con sorgo y pasta de soya fue adicio- nada con 60 ppm de luteína, 40 ppm de luteína con 0, 2, 3 y 4 - ppm de capsantina. Como fuente de luteína se empleó un extrac- to hidrolizado de flor de compasúchil y de capsantina, un ex- - tracto hidrolizado de frutos del género Capsicum. La ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia fue simi- lar ( $P > .05$ ) entre tratamientos. El color amarillo fue similar ( $P > .05$ ) entre tratamientos en la piel. Para los tarsos el co- lor amarillo disminuyó ( $P < .05$ ) con los tratamientos que inclu- yeron 40 ppm de luteína y 3, 4 ppm de capsantina. Este efecto fue debido a que la capsantina se fijó en los tarsos de los po- llos. La evaluación del color rojo en esta variable indicó - - ( $P < .05$ ), un valor más alto con la inclusión de capsantina. En el tercer experimento 270 gallinas Leghorn blancas (liy line W36) de 40 semanas de edad, se distribuyeron en un arreglo factorial 3 X 3. El primer factor fue la adición a una dieta sorgo y pas- ta de soya (blanca) de luteína (6, 12 y 18 ppm) y el segundo - la suplementación de (0, 1.5 y 3 ppm) de capsantina. Cada tra- tamiento constó de 3 repeticiones de 10 aves cada una. Los re- sultados obtenidos en 28 días, no mostraron diferencias ( $P > .05$ ) en el comportamiento productivo de las gallinas. En el color -- amarillo y rojo de la yema del huevo se encontraron diferencias

( $P < .05$ ). El color amarillo de la yema aumentó con la suplementación de luteína. El color rojo de la yema del huevo se incrementó en forma cuadrática ( $P < .05$ ). Esta información y la obtenida en el experimento 2, indica que para lograr una coloración amarillo-naranja en la yema del huevo y los tarsos de los pollos de engorda es necesario combinar xantofilas amarillas como la luteína y pequeñas cantidades de xantofilas rojas como la --capsantina lográndose una optimización de su empleo. Por otro lado, los datos obtenidos indican que el colorímetro de reflectancia es un instrumento preciso para medir tanto la pigmentación de piel y tarsos en pollo de engorda, como la pigmentación de la yema de huevo.

## INTRODUCCION

El término pigmento se refiere a los carotenoides (xantofilas) cuando están presentes o son adicionados a la dieta de los animales a través de ingredientes o en forma sintética para dar color amarillo o amarillo naranja a los tejidos de éstos, tales como la piel y grasa, o a sus productos como: yema de huevo y subproductos como mantequilla, pastas y quesos.

Este método de coloración de los alimentos es tan viejo como el reino animal mismo. Sólo las plantas, sintetizan los carotenoides. Los animales carecen de esta aptitud, únicamente pueden modificar un poco la estructura de los carotenoides ingeridos. Aparte de sus actividades pigmentantes, algunos carotenoides desempeñan algunas funciones biológicas como actividad vitamínica A u otras menos conocidas como mejoramiento de la fertilidad y de la tasa de eclosión, aumento de la resistencia y la viabilidad así como, disminución de la encefalomalacia. En las plantas tienen un papel muy importante en la protección de la clorofila (19, 20).

La pigmentación del pollo de carne y la yema del huevo se debe a la demanda de los consumidores y no a necesidades nutritivas de las aves.

En nuestro país, la pigmentación ocupa un renglón muy importante dentro de la alimentación de las aves, debido a que -- las amas de casa asocian el color amarillo brillante o amarillo anaranjado de la piel del pollo y la yema de huevo para consumo con animales de mejor calidad y saludables.

En México, los compradores pagan mejor los pollos que tengan la piel y patas amarillas que aquellos que no las tienen o presentan una coloración más clara (10 y 11).

Las amas de casa tienen preferencia por los huevos que presentan una coloración amarilla anaranjada y además esperan que ésta sea uniforme en los productos que consume.

Esta misma tendencia se observa en algunos países Americanos y Europeos, por ejemplo, las coloraciones aceptadas de acuerdo con el abanico colorimétrico de Roche, se encuentra en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Preferencia de los consumidores en la pigmentación de la yema de huevo en algunos países

P A I S E S	RANGO	DESEADO
Argentina	7 - 12	8
Brasil	8 - 15	11
Chile	10 - 12	11
España	11 - 13	13
Estados Unidos de Norteamérica	7 - 10	9
Estados Unidos Mexicanos	9 - 12	11
Irlanda	7 - 10	9
Perú	7 - 12	9
Venezuela	7 - 11	8

Tomado de Ochoa (36)

La explotación de las aves se realiza en confinamiento, lo -- que motiva que éstas no tengan libre acceso a los vegetales ricos en xantofilas. Antiguamente en la alimentación de las aves se incluía maíz amarillo, harina de alfalfa, pasto bermuda y -- glúten de maíz, pero actualmente en nuestro país el maíz es exclusivo para la alimentación humana y las raciones bajas en fibra y alta energía que se utilizan para una producción eficiente.

te no permiten el uso de pasturas en la dieta, siendo ésta la razón por la cual se utilizan concentrados de xantofilas naturales o sintéticas en las dietas de las aves para sustituir aquellas que eran aportadas en forma natural por los ingredientes de la dieta que se mencionaron (10, 11).

Para obtener buenos valores de pigmentación, era necesario agregar de 40 - 60 mg/Kg de xantofilas al alimento para gallinas de postura.

La coloración amarilla que imparten los carotenoides es debida al pigmento llamado luteína que es la xantofila predominante en varias fuentes naturales de pigmentos (maíz amarillo, alfalfa, cempasúchil).

La capsantina, una xantofila roja presente en los frutos rojos del Capsicum spp., es necesaria combinarla en la dieta con las xantofilas amarillas para obtener los tonos naranja descaados.

También existen carotenoides sintéticos que la industria ha desarrollado para satisfacer la gran demanda de éstos, como es el caso de la cantaxantina (pigmento rojo) y el Ester Etilico del Acido Beta Apo 8' Carotenoico (pigmento amarillo).

En presencia de enfermedades como: La enfermedad respira-

toria crónica, coccidiosis, aflatoxicosis y reovirosis, un signo fácil de detectar es la despigmentación, por lo que los clínicos experimentados observan la pigmentación para conocer la salud de la parvada.

Los métodos de evaluación del poder pigmentante de las xantofilas se dividen en: subjetivos y objetivos. Entre los primeros se encuentra la prueba de Rank y los abanicos colorimétricos de Roche, Purina y BASF. En los objetivos se encuentra el empleo del espectrofotómetro y los colorímetros de reflectancia. Estos últimos han tenido gran auge en años recientes en otros países debido a que son portátiles, no requieren una preparación previa de la muestra y pueden usarse tanto en interiores como en el campo; además los resultados que se obtienen dan una información, dado el punto de vista científico y técnico más preciso, razón por la cual en el presente estudio se evaluó el poder pigmentante de luteína y/o capsantina con un colorímetro de reflectancia en la piel y en la yema de huevo con objeto de contar bajo condiciones de México y con el tipo de pigmentos que se emplean, información que pueda ser de utilidad a la industria avícola.

## REVISION DE LA LITERATURA

a) Clasificación de los carotenoides. Los carotenoides o lipocromos, son un grupo de pigmentos que se encuentran en algunos vegetales y en las grasas de reserva de los animales. Reciben el nombre de lipocromos por su solubilidad en las grasas o en los disolventes de éstas. Se trata de hidrocarburos o de -- productos de oxidación de hidrocarburos de alto peso molecular conteniendo un elevado número de dobles enlaces. Este último -- carácter determina su intensa coloración, sus espectros de absorción y su afinidad con el oxígeno (19, 47).

Los carotenoides son considerados como derivados del isopreno, que al unirse previa deshidrogenación, pueden constituir largas cadenas alifáticas o estructuras en anillo. Los carotenoides con 40 átomos de C están constituidos por 8 radicales -- isoprenícos. Estos radicales pueden disponerse todos en una cadena abierta como es el caso del licopeno. En otros, forman cadenas unidas a anillos hidroaromáticos, como es el caso del beta caroteno que contiene al menos un anillo sin substituyentes de beta ionona, esencial para la actividad de provitamina A -- (19, 47).

La mayoría de los carotenoides naturales conocidos como -- xantofilas son derivados oxigenados del licopeno, alfa, beta y

gamma caroteno (19).

Algunos de los carotenos naturales, poseen grupo carboxilo, tienen menos de 40 átomos de carbono y al parecer se originan - en las plantas por degradación oxidativa de los carotenoides de cadena de mayor longitud, ejemplo de éstos es la bixina (47).

En la figura 1 aparece la estructura química de algunas - - fuentes principales de carotenoides, en donde se puede observar la relación química que existe con el beta caroteno.

Según su función química los carotenoides se clasifican en:

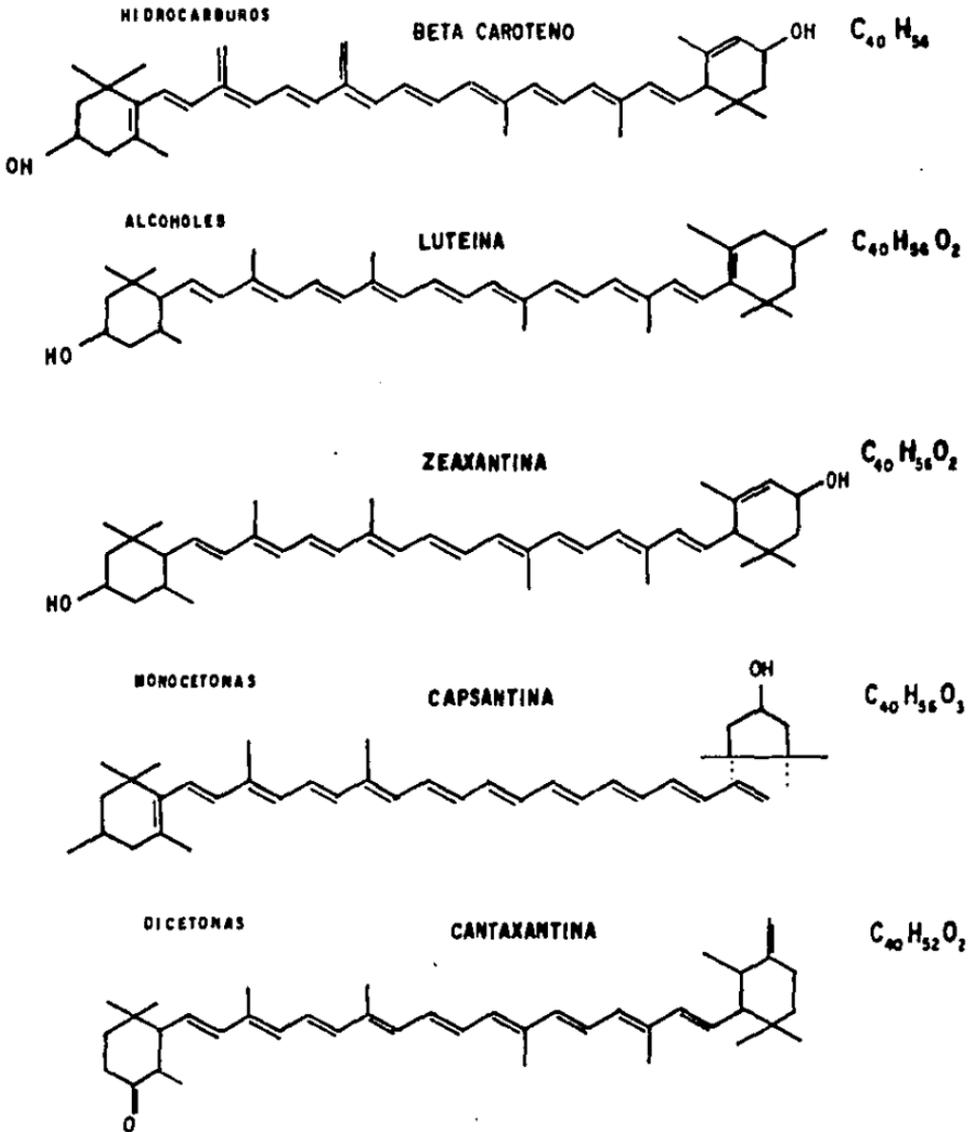
Hidrocarburos	Ej. alfa, beta y gamma caroteno, lico <u>p</u> eno.
Alcoholes	Ej. criptoxantina, luteína, zeaxanti <u>n</u> a, flavoxantina, taraxantina, fu <u>c</u> oxantina, violoxantina.
Ácidos	Ej. bixina, crocentina, azafrina.
Cetonas	Ej. capsantina, rodoxantina, capsoru <u>b</u> ina.

(47).

De acuerdo a su estructura química, los carotenoides se -- pueden clasificar como hidroxicarotenoides, cetocarotenoides y

FIGURA 1

ESTRUCTURA QUIMICA Y FORMULA CONDENSADA DE ALGUNOS CAROTENOIDES DE IMPORTANCIA PIGMENTANTE



productos de degradación del beta caroteno (6).

Desde el punto de vista funcional como pigmentantes de los tejidos de las aves, los carotenoides han sido clasificados como:

Precursores de la vitamina A que no pigmentan, Ej. alfa y beta carotenos.

Precursores de la vitamina A que pigmentan, Ej. criptoxantina, beta apo 8' carotenal.

No precursores de la vitamina A que pigmentan, Ej. luteína, zeaxantina, y cantaxantina (6).

Los carotenoides de los tejidos animales superiores provienen exclusivamente de fuentes dietéticas como se observa en el Cuadro 2 (5, 6, 34, 47).

Las aves almacenan y depositan preferentemente los carotenoides ingeridos en: el hígado, yema de huevo, grasa corporal, piel, picos y tarsos (19).

CUADRO 2

CAROTENOIDES PRINCIPALES DE IMPORTANCIA PIGMENTANTE

Carotenoide del que derivan	Derivado oxigenado	Origen
Licopeno	Licoxantina (3-oxilicopeno)	Tomate, rhodospirillum
Alfa caroteno	Luteina (3,3' dioxi-alfa-caroteno)	Hojas verdes, flores, fr <u>u</u> tos.
Beta Caroteno	Criptoxantina (3-oxi-beta-caroteno)	Frutas, bayas, maiz amar <u>i</u> llo.
	Zeaxantina (3,3' -dioxi B - caroteno)	Maiz amarillo
	Cantaxantina (4,4' diceto beta caroteno)	Setas, Corynebacterium
	Astacina (3,4,4' tetraceto-beta-caroteno)	Caparazones de lançosta
Gama caroteno	Astaxantina (3,3' -dioxi-4, 4' diceto beta caroteno)	Algas verdes
	Rubixantina (3-oxi-gama caroteno)	Flores, bacterias verdes sulfurosas.

Tomado de Fruton, S.J. y Simmons, S. (19)

b) Fuentes naturales de pigmentos:

Maíz amarillo.- El contenido de oxicarotenoides varía ampliamente entre híbridos y estirpes. Su contenido es controlado por factores genéticos y puede ser alterado. Los carotenoides presentes en orden de concentración mayor a menor son: luteína, zeaxantina, zeinoxantina y criptoxantina. El contenido total de éstos varía de 2.3 - 40 ppm (6).

De acuerdo con Quackenbush et al, el porcentaje de luteína es 54% zeaxantina 23%, criptoxantina 8%; siendo la luteína y la zeaxantina los carotenoides de importancia práctica en la pigmentación de las aves (40).

Glúten de maíz amarillo.- El contenido de oxicarotenoides está relacionado con el contenido de proteínas y con el maíz amarillo utilizado. Un glúten de maíz amarillo con un contenido de 40% de proteína promedia 126 mg/Kg y un glúten con 60% -- promedia 252 mg/Kg. Los carotenoides presentes en orden de mayor a menor concentración son: luteína, zeaxantina, criptoxantina y zeinoxantina (6).

Los oxicaretonoides del glúten de maíz son utilizados en forma menos eficiente que los del maíz amarillo y la alfalfa -- deshidratada, tanto en el pollo de engorda como por las gallinas en postura (6).

Harina de alfalfa.- El contenido de oxicarotenoides en la harina de alfalfa puede variar por factores tales como el estado de madurez, secado, condiciones de almacenamiento y el contenido de proteína. A mayor contenido de proteína, mayor es el contenido de oxicarotenoides(6).

Alfalfas con 17% de proteína tienen alrededor de 200 mg/Kg y alfalfas con 25% de proteína, promedian 360 mg/Kg. La cromatografía en capa fina muestra que los oxicarotenoides presentes en la alfalfa son de mayor a menor contenido: luteína, violoxantina, zeaxantina, criptoxantina, flavoxantina, neoxantina -- (6). De acuerdo con Livingston et al., la luteína predomina en un 72%, violaxantina 7% y neoxantina 10% (6).

Zacate bermuda.- La harina de este pasto que contenga 17% de proteína promedia 400 mg/kg de oxcartenoides; en estudios realizados en aves, se ha demostrado que su valor pigmentante es similar al de la harina de alfalfa (6).

Harina de algas.- La espirulina (Spirulina guetlieri) y la chlorella (Chlorella pyrenoidosa), tienen un alto contenido de oxicarotenoides 2 - 4 g/Kg siendo la luteína la xantofila predominante (4, 6, 7, 33, 46).

Harina de chiles.- Los frutos de las plantas del género Capsicum (pimientos, chiles, paprika), tienen poder pigmentante

en la yema del huevo y la piel de pollo. El componente activo en estas fuentes son la capsantina ( $C_{40}H_{56}O_3$ ) y la capsorubina ( $C_{40}H_{56}O_4$ ). Un gran número de investigadores han utilizado extractos de paprika y harina de chile demostrando que produce tonos rojizos en las yemas de los huevos, dependiendo del nivel utilizado (6, 15, 17).

Carlson et al. informaron un color aceptable de los huevos de gallinas suplementadas con paprika; sin embargo, la mayonesa producida con estos huevos no tenía el color amarillo deseado (6). Fletcher y Halloran demostraron que el agregar oleoresina de paprika en dosis bajas a una dieta con base amarilla -- (concentrado de cempasúchil), se mejora enormemente el color de las yemas de los huevos (14).

Flor de cempasúchil. - Los pétalos de cempasúchil (Tagetes erecta), son la fuente natural con mayor concentración de xantofilas. Algunos productos deshidratados de estas flores contienen 6,000 - 10,000 mg/Kg, siendo la luteína el carotenoide predominante (6). Tyczkowski y Hamilton señalan que el 97% es luteína y el 3% zeaxantina (51).

Estos autores encontraron que la disponibilidad biológica de las xantofilas en harina de cempasúchil varía del 45% al 74% en relación con las del glúten de maíz (51).

En una serie de experimentos realizados por Coon y Couch se demostró que los carotenoides de la harina de cempasúchil -- son 15% más disponibles que los de harina de cempasúchil no hidrolizada en las gallinas de postura. En este estudio se empleó como pigmento carotenoide de comparación al beta apo 8' carotenoide etil ester, asignándole un valor del 100% (8).

En otros estudios se indica que las xantofilas de la harina de alfalfa son 96% disponibles y las de harina de cempasúchil sólo 88%. Los trabajos demostraron que la menor disponibilidad en las xantofilas de la flor de cempasúchil es debida a que gran parte se encuentra esterificada con ácidos grasos. Por hidrólisis de los esteres de los ácidos grasos, la disponibilidad fue mejorando hasta el 97% (8).

Es importante señalar que los pigmentos que fueron suplementados a gallinas en postura, en la forma de ésteres de ácidos grasos fueron evaluados en las excretas y mostraron estar totalmente hidrolizados, como los ésteres de los ácidos grasos son hidrolizados en el tracto digestivo de la gallina, se puede asumir que el desdoblamiento de xantofilas es demasiado lento para una máxima absorción de xantofilas y por ende menor fue la pigmentación obtenida (39).

En el pollo de engorda todos los estudios han demostrado que los productos hidrolizados de cempasúchil resultan en un ma

por poder pigmentante de la piel (18).

Desde hace años los fabricantes de xantofilas a partir de la flor de compasúchil comercializan productos hidrolizados. En primera instancia se extraen las xantofilas de la flor de compasúchil y éstas son hidrolizadas y estabilizadas con el objeto de tener el mayor porcentaje de la luteína en forma libre. Las presentaciones comerciales de los productos en la actualidad varían desde 12,000 hasta 40,000 mg/Kg (5).

c) Carotenoides de importancia práctica para pigmentar productos avícolas.

Luteína.- La luteína (figura 1) es un 3,3' dihidroxí alfa caroteno, cuya fórmula condensada es  $(C_{40}H_{56}O_2)$ ; fue identificada en la grasa del pollo por Zachmeister y por Tuzson y en las plumas del canario (Serinus canarius) por Volker. La luteína es un componente constante de la leche de vaca y su concentración depende de la cantidad ingerida en la dieta, también ha sido encontrada en el suero, pero no en la grasa del ganado (6).

La luteína se encuentra presente en el maíz amarillo, glúten de maíz amarillo, alfalfa, pasto bermuda, en algas como la espirulina y en la flor de compasúchil. Desafortunadamente los carotenoides en todos estos ingredientes no son estables y se pierde aproximadamente el 50% de ellos al ser almacenados duran

te un año (54). Sin embargo la industria ha desarrollado productos con extractos de xantofilas que pueden almacenarse durante largo tiempo sin perder sus características.

El perfil de los carotenoides en los productos mencionados es muy complejo. El uso de cromatografía de líquidos a alta presión (HPLC) revela que el maíz blanco contiene por lo menos 12 carotenoides. Esta complejidad del perfil de los carotenoides y la mayor complejidad del perfil de éstos en tejidos de aves que se han alimentado con dietas a base de pasta de soya y maíz amarillo hace difícil el estudio del metabolismo en los pollos, 20 carotenoides fueron observados en el hígado en el análisis por HPLC (50, 51).

La luteína además de ser un pigmento amarillo muy efectivo para las aves, es rápidamente absorbida en el intestino delgado y transportada a los sitios de depósito (50).

Metabolismo de la luteína en el pollo de engorda.- Cuando se proporciona a los pollos un producto hidrolizado de cempasúchil que contenga 91% de luteína libre, 8% monoéster y 1% diéster, se ha podido observar lo siguiente: La concentración mayor de luteína en el tracto gastrointestinal es luteína monoéster, en una proporción del doble que luteína libre y cerca de 4 veces mayor que la luteína en forma diéster (50).

En el suero donde los carotenoides son transportados del tracto gastrointestinal a los sitios de depósito, cerca del 98% del total de luteína está presente como un alcohol libre y el resto como monoéster y no hay trazas de luteína diéster. En el hígado la luteína se encuentra primariamente como alcohol libre, un 20% como monoéster y únicamente trazas de luteína diéster -- (50).

Cerca de la mitad de la luteína total en la piel de la pechuga está presente como diéster, el resto está en cantidades iguales de luteína libre y luteína diéster. El contenido total de carotenoides en la piel y en el suero son directamente proporcionales a las concentraciones de carotenoides en la dieta. Lo encontrado por Tyckzkowski y Hamilton (50, 51), de que la luteína en el contenido intestinal está presente en las tres formas, es contrario a lo esperado basándose en la primera observación hecha por Philip et al. en la que las gallinas que consumieron luteína diéster la deacilan a luteína libre antes de depositarla en los huevos y esta deacilación ocurre en el contenido intestinal de las gallinas (50).

Los datos no definen la forma de la luteína cuando es absorbida, pero lo encontrado en el suero, luteína libre principalmente (96%), sugiere que el alcohol libre es la forma en que es absorbida y esto implica que la forma de transporte es la luteína libre. Esto también indica que la absorción en la pared -

intestinal es un proceso pasivo insaturable. La ocurrencia de 20% del total de luteína en el hígado como monoésteres sugiere, que quizás exista una actividad local enzimática que esterifica la luteína libre. El papel de almacenamiento y esterificación de la luteína en el hígado no es conocido, pero quizás el hígado actúa como un depósito auxiliar para los carotenoides cuando aumenta la concentración en el suero en forma violenta por la disposición de éstos a través de la dieta (50).

Las formas esterificadas y particularmente los diésteres son las formas en que se deposita la luteína en la piel. El encontrar cantidades apreciables de luteína monoéster sugiere que la formación de luteína diéster a partir de luteína libre tiene 2 pasos enzimáticos discretos (luteína libre  $\rightarrow$  luteína monoéster  $\rightarrow$  luteína diéster) y el equilibrio para las reacciones no lo quita de la unidad. La presencia de la luteína libre como la forma de transporte sugiere que la luteína libre en el tegumento puede ser más hábil que la diéster cuando ocurre una pérdida de carotenoides (50).

La eventual palidez de las aves que consumen dietas bajas en luteína, implica la existencia de enzimas deacilasas (esteerasas). Si la luteína libre continúa siendo la forma de transporte bajo estas condiciones, la existencia en el tegumento de pasos enzimáticos para la acilación y deacilación de la luteína implica que existe un beneficio para el ave teniendo formas es-

tables de dihidroxicarotenoides en su piel (50).

Metabolismo de la luteína en las gallinas de postura. - En un trabajo desarrollado en gallinas de postura, las aves se alimentaron inicialmente con una dieta de tipo comercial a base de maíz amarillo, alfalfa y pasta de soya la cual contenía 19.8 ppm de xantofilas (luteína 36%, zeaxantina 7%, luteína monoéster 6%, luteína diéster 2%, otros 49%). Esta dieta fue sustituida posteriormente por una dieta baja en xantofilas a base de maíz blanco y pasta de soya la cual contenía 0.35 ppm de xantofilas, siendo esta dieta adicionada con 20 ppm de luteína libre estabilizada y microencapsulada proveniente de un extracto de cempasúchil comercial, este producto tenía por análisis 1% de luteína diéster, 3% luteína monoéster, 93% luteína libre, cantidades traza de epoxiluteína y no existía 3' oxiluteína detectable. Esta dieta fue proporcionada durante 6 semanas a las gallinas. Las yemas de los huevos de las gallinas fueron evaluadas con un cromatógrafo de líquidos a alta presión (HPLC), mostrando en los huevos puestos por las gallinas cuando consumieron la dieta a base de alfalfa, maíz amarillo y pasta de soya, que existieron más de 20 carotenoides, siendo únicamente identificados 8: luteína diéster, luteína monoéster, 3' oxiluteína, luteína, zeaxantina, criptoxantina; zeacaroteno y beta caroteno fueron identificados como un solo pico. Los huevos de las gallinas puestos durante el período de tiempo que consumieron la dieta blanca suplementada con luteína, a las cinco semanas de -

consumir esta dieta, mostraron los siguientes picos: luteína diéster, luteína monoéster, 3' oxiluteína y luteína libre. El tiempo requerido para la estabilización de los carotenoides fue estudiado por el análisis semanal de las yemas de los huevos. La composición de los carotenoides cambió rápidamente a las 3 semanas; la criptoxantina, un monohidroxicarotenoide pobremente utilizado y que aparece en grandes cantidades en el maíz amarillo y la alfalfa desapareció.

La luteína diéster, luteína monoéster y 3' oxiluteína se equilibra a las 3 semanas en concentraciones aproximadamente -- del 50% de su concentración previo a su reemplazo. La concentración de luteína a las 3 semanas fue un poco menos que a las 2 ó a las 4 semanas. Pero esta diferencia fue estadística.

El suero de las gallinas a las 4 semanas de reemplazada la dieta contenía luteína monoéster y 3' oxiluteína en cantidades medibles. La luteína diéster estaba únicamente en cantidades -- trazas. El rango de luteína: oxiluteína en el suero fue de -- (8:1) y fue el mismo en la yema del huevo. El rango de luteína: luteína monoéster en el suero fue de (8:1), siendo aproximadamente el mismo en la yema del huevo (9:1).

Se puede entonces deducir que la luteína es metabolizada -- por 2 caminos diferentes por las gallinas de postura: La luteína (3, 3' dihidroxí-beta epsilon caroteno es acilada a luteína

monoéster, siendo la luteína diéster el producto final de este camino, siendo 2 grupos hidroxilo esterificados. Asumiendo que más de un ácido graso está involucrado en la esterificación, el número de carotenoides se incrementa logarítmicamente con el número de ácidos grasos involucrados (43).

El segundo camino es la oxidación de la luteína a 3' oxiluteína sugiriéndose que el órgano donde se lleva a cabo esta oxidación es el hígado y no en el ovario, debido a la constante relación en el suero y yemas de los huevos de luteína: 3' oxiluteína. Similarmente el rango constante luteína: luteína monoéster sugiere un origen no ovárico para el monoéster, lo cual está de acuerdo con lo encontrado en los pollos de engorda (43).

Capsantina. - Es un carotenoide rojo presente en los frutos de las plantas del género *Capsicum* (6). Su fórmula condensada es  $C_{40}H_{56}O_3$ . En trabajos realizados por varios investigadores se ha demostrado que el poder pigmentante de esta xantofila, -- al agregarse en pequeñas cantidades en las dietas de las gallinas de postura el color de las yemas de los huevos se incrementa enormemente. En un experimento se adicionaron a una dieta de gallinas en postura 13 mg/Kg de paprika, produciendo el mismo color (12 en el abanico colorimétrico de Roche) que 60 mg/Kg de xantofilas provenientes del cempasúchil; esta respuesta visual es mucho mayor que la respuesta a un método químico espectrofotométrico como lo es el método de la AOAC de equivalentes

del beta caroteno (15, 17). El empleo principal de este carotenoide es como complemento a dietas que contienen luteína (pigmento amarillo) para lograr en el producto final una coloración amarillo naranja en la yema del huevo.

Criptoxantina.- Es un carotenoide presente también en el maíz amarillo. El porcentaje en que se encuentra cambia con la variedad del maíz, lugar de siembra, tiempo de almacenamiento. Esta xantofila es absorbida únicamente en un 10% en relación a la eficiencia de absorción de zeacaroteno y resulta de poca importancia pigmentante en las dietas (22).

Zeaxantina.- La zeaxantina (3, 3' dihidroxi beta caroteno) está presente en el maíz amarillo (54%) y en el glúten de maíz amarillo. Se ha demostrado que es un pigmento efectivo que da un color amarillo dorado en un número limitado de pruebas. En el trabajo realizado por Marusich se demostró que la zeaxantina tiene por lo menos el doble de potencia pigmentante que el apo ester etílico (32). Por otro lado Hencken informa que la zeaxantina y en general las xantofilas de los vegetales frescos o congelados, se aprovechan mejor que las procedentes de vegetales previamente desecados. Esto es debido a que la zeaxantina se halla en forma holo - trans y durante el almacenamiento se produce una isomerización parcial dando lugar a la forma cis y a severa - que esta forma tiene una eficacia pigmentante del 60 - 70% de las formas trans (27).

d) Fuentes de pigmentos sintéticos

Cantaxantina. - La cantaxantina era desconocida hasta 1950, cuando fue aislada del hongo Cantharellars cinnaberinus. Sa- - perstein et al. aislaron cantaxantina de cadenas mutantes de -- Coryne bacterium michiganense. El uso comercial de cantaxantina como pigmento de aves se inició en Europa y Sudamérica en -- los sesentas. La cantaxantina también se encuentra en algas y otras plantas de vida marina, en camarones, truchas y flamencos (3).

La cantaxantina es un oxicarotenoide rojo que incrementa la pigmentación de la yema de huevo y los tarsos de pollos. Los experimentos han demostrado que la cantaxantina puede sustituir parte de los pigmentos rojos y amarillos de la dieta, pero no - del todo; la cantidad y la relación son importantes cuando la - relación es por abajo del 4:1 sobre tonos naranja, estarán presentes. La cantaxantina no debe adicionarse a una ración baja en pigmentos amarillos porque producirá tonos rosas indeseables (3). Actualmente en el mercado existe un producto sintetizado químicamente.

Apocaroteno ester. - El ester etílico del ácido beta-apo-3' caroteno o apocaroteno ester se presenta en forma de ácido 11-- bre como producto intermedio del metabolismo en la transforma-- ción biológica de los carotenos. Este pigmento sintético pro--

porciona un color amarillo. Actualmente existe un producto en el mercado con este principio y en algunos estudios está citado que produce un color aceptable de las yemas de los huevos, así como los tarsos y piel del pollo de engorda (21).

Couch y Farr en un experimento con gallinas en postura a las que alimentaron con una dieta a base de maíz amarillo y harina de alfalfa demostraron que el agregar 4.4, 8.8 y 13.2 mg/Kg de cantaxantina se incrementó enormemente el valor NEPA, pero al agregar beta apo 8' carotenal no se incrementó el valor NEPA de la yema de los huevos (9).

c) Algunos factores que influyen en la pigmentación.- La pigmentación de las aves continúa siendo un problema de gran complejidad tanto a nivel práctico como teórico. El uso de los términos "síndrome del ave pálida" y "síndrome de mala absorción", como sinónimos es consecuencia del énfasis que los avicultores ponen en la falta de pigmentación de las aves. Las aves pálidas son el resultado de una absorción deficiente de xantofilas, esto involucra lo descrito por ambos términos. La palidez producida por una pérdida de los carotenoides de los tejidos no es precisamente el llamado "síndrome de mala absorción". Por otro lado, la grasa puede ser absorbida pobremente mientras que la pigmentación está en un nivel normal (23).

Una pobre pigmentación puede ocurrir en aves normales por

otro tipo de causas. En estos casos debe llamarse una pigmentación errática en lugar de síndrome de ave pálida, el cual implica una anomalía en el ave. Un ejemplo de pigmentación errática es cuando parvadas aparentemente sanas presentan una marcada diferencia de color en la piel y tarsos, no obstante que están recibiendo un alimento idéntico en contenido de carotenoides. Con las técnicas actuales un análisis del alimento por cromatografía de líquidos a alta presión revela que el alimento puede variar hasta en un 30% en el contenido de carotenoides disponibles que son eficientemente absorbidos por las aves. Estas variaciones se deben a la variedad, lugar donde procede, hidrólisis de xantofilas, tiempo de almacenamiento y fertilización a que estuvieron sujetas las diferentes fuentes de carotenoides disponibles. Los métodos analíticos que miden el total del pigmento en lugar del pigmento disponible pueden resultar en una pigmentación errática (23).

Además hay factores genéticos que afectan la habilidad de las gallinas para absorber y depositar las xantofilas en la yema del huevo, éstas diferencias existen aún entre gallinas de la misma estirpe (43). También ha sido demostrado en pollos de engorda que existen diferencias entre cruzas y entre líneas para obtener un mayor color (21, 24).

Diversos autores han demostrado que el autosoma (W) para piel blanca es dominante sobre el gene (w) para dermis amarilla,

Este es el responsable en el pollo de engorda de la restricción de la entrada de oxícarotenoides en la piel; pero no en otros tejidos. Otros estudios han demostrado que las diferentes razas tienen variaciones en su habilidad para depositar el pigmento en la yema del huevo (45).

Comparando el color de las yemas de los huevos de 12 diferentes estirpes con el colorímetro de reflectancia (IDL color-eye) se comprobó que existen variaciones entre estirpes (28).

Las casetas con ventanas o sin ellas (de ambiente controlado) no producen un efecto significativo en el color de las yemas de huevos; sin embargo, diferencias en el consumo de alimento por huevo producido indicaron un incremento en la diferencia de la pigmentación estimulada por la luz (53).

Los pollos de engorda criados en casetas sin ventanas, -- con luz artificial (casetas de clima controlado), producen tarsos con valores más bajos de longitud de onda dominante que -- aquellos criados en casetas con ventanas y luz natural (12).

Desde hace tiempo se sabe, que los animales pueden transformar las xantofilas ingeridas, tales transformaciones consisten al parecer en un aumento de la oxidación de los carotenoides (por ejemplo beta caroteno en zeaxantina o astaxantina); estas transformaciones tienen por consecuencia que los carotenoi-

des pieruen el matiz amarillo, dando lugar a xantofilas de color entre amarillo y rojizo; quedando demostrado que los pollos criados al aire libre o en gallineros con ventanas tienen una pigmentación cutánea más pronunciada y esta pigmentación más acusada obedece a un desplazamiento del matiz hacia un campo amarillo rojizo, ésto se debe probablemente a una transformación influenciada por la luz solar (12).

Las diferencias en pigmentación que se observan entre las yemas de los huevos producidos por las gallinas en jaulas o en piso puede deberse a diferencias en la intensidad de la luz. Esto se basa en los ya conocidos efectos de la luz sobre la pigmentación de las aves (12).

La exposición del alimento a la luz del sol, resulta en una pobre pigmentación del pollo de engorda. Una posible causa de las diferencias en la pigmentación provocadas por efectos de la luz es la conversión de las xantofilas amarillas a pigmentos rojos tanto en el alimento como en el proceso metabólico de las aves (13).

La infección subclínica de Eimeria máxima y Eimeria acervulina en el pollo de engorda no afecta el consumo de alimentos o de oxicarotenoides, pero los niveles de pigmentos en el plasma y piel disminuyen al igual que los niveles de vitamina A del hígado debido a una menor absorción en el intestino (30).

La coccidiosis, particularmente la provocada por Eimeria acervulina ataca al duodeno y al yeyuno en su parte alta, donde los carotenoides son absorbidos, provocando una severa y rápida despigmentación de los pollos de engorda. A los 4 días después de la infección, los pollos pierden el 95% de su habilidad para absorber los carotenoides y más del 50% de los carotenoides presentes en el suero (31, 37, 41).

Es interesante remarcar que una infección subclínica con este parásito (200 ocistos por ave) provoca una despigmentación (30, 37, 38, 41, 53).

Es obvio que Eimeria acervulina produce una rápida pérdida de los carotenoides de los tejidos presumiblemente de la mucosa intestinal, independientemente de provocar la pérdida casi total de la habilidad para absorber los carotenoides del tubo digestivo (30, 37, 41, 53).

Eimeria máxima y Eimeria necatrix reducen los carotenoides del plasma por la interferencia en la absorción y una fuga de éstos a través de la mucosa intestinal dañada y Eimeria mivati, acervulina, máxima son las que mayor despigmentación producen debido a la zona del intestino que parasitan. Esto es debido a que el yeyuno e ileum son las áreas del intestino donde se lleva a cabo la absorción de las xantofilas en el pollo (31, 37, 41, 54).

La fuente de micotoxinas puede estar en cualquier lugar, - en el campo, antes de la cosecha o en los comederos de las granjas. La ochratoxina produce el síndrome del ave pálida más severamente que la aflatoxina sin afectar el mecanismo de los lípidos causados por la aflatoxicosis. Esto sugiere que las dos toxinas provocan el síndrome del ave pálida por mecanismos diferentes y que los carotenoides no son moléculas inertes que son absorbidas en los lípidos sino que tienen un metabolismo específico. Durante la aflatoxicosis existe una marcada reducción en la acumulación de carotenoides en el hígado. Además de provocar una depresión de la actividad enzimática, siendo la amilasa la más afectada al igual que las sales biliares (30, 38, 42).

Dependiendo de la concentración de ochratoxina será el daño que produzca en la concentración de carotenoides, siendo cinco las formas en que afecta el metabolismo de las xantofilas:

- 1) dilución de los carotenoides en el contenido intestinal;
- 2) deprime la absorción por la mucosa intestinal;
- 3) deprime el transporte en el suero;
- 4) altera la acumulación en el hígado y
- 5) altera los pasos de acilación en el tejido (30).

Es difícil explicar cómo una infección respiratoria puede empeorar la absorción de los carotenoides del tracto intestinal después de que la infección está aparentemente curada (22).

Otro aspecto interesante del metabolismo de los carotenoi-

des fue encontrado cuando se midió a los carotenoides del suero de pollitos de un día de edad en una incubadora comercial; los valores fueron mayores que los observados en pollos grandes. Este fenómeno fue estudiado adicionando cantaxantina a una dieta de iniciación normal y midiendo la cantaxantina y luteína del suero diariamente. Una disminución diaria de la concentración de luteína fue observada y al quinto día era de menos de la mitad de los valores observados en la incubadora. Esta disminución no es el resultado de alguna inhabilidad para absorber carotenoides como lo demuestra el incremento diario en la concentración de cantaxantina en el suero. Presumiblemente esta palidez natural neonatal de los pollitos es un reflejo de un inadecuado nivel de carotenoides. Esto sugiere que la fase de alimentar diferentes niveles de carotenoides debe reexaminarse porque los niveles iniciales en el suero son mayores que los encontrados en pollos grandes bien pigmentados (22).

Es muy conocido por la literatura y por la práctica, que la grasa de la dieta influye en la pigmentación de los pollos de engorda, el mecanismo de cómo influyen las grasas del alimento no es bien conocido. En el pasado, los carotenoides habían sido considerados como moléculas inertes que pasaban rápidamente en el metabolismo de las grasas. Sin embargo, el uso de cromatografía de líquidos a alta presión ha revelado una sorprendente habilidad de las aves para manipular los carotenoides metabólicamente (22).

En un experimento se usaron pollos de engorda que fueron alimentados por 3 semanas con una dieta a base de maíz blanco y pasta de soya la cual contenía dextrosa y no fue adicionada con grasa. Posteriormente se alimentaron con dietas que contenían 40 ppm de luteína y diferentes fuentes de grasa; después de 3 días de consumir la dieta la luteína en el suero fue de 3.8 microgramos/ml en las aves que recibían la dieta libre de grasa, 6.6 mcg/ml en las aves que recibieron una dieta adicionada con aceite de oliva y 9.6 mcg/ml en las aves que recibieron la dieta adicionada con aceite de coco. El aceite de coco contiene principalmente ácido láurico, el cual es un ácido saturado de cadena media (C - 12). El aceite de oliva está compuesto mayormente de ácido oléico el cual es insaturado de cadena larga (C - 18) (23).

En un experimento similar, ácidos grasos purificados (95%) fueron adicionados a la dieta. Se demostró que existe una jerarquía definitiva en la habilidad de estos ácidos grasos para promover la absorción de la luteína hacia el suero. Los ácidos grasos que fueron adicionados a la dieta se encuentran en el Cuadro 3 (23).

CUADRO 3

Ácidos grasos adicionados a la dieta y absorción de luteína

<u>Ácido graso</u>	<u>Largo de la cadena</u>		<u>Luteína en el suero</u> mcg/ml
Ácido cáprico	10	+	1.45
Ácido láurico	12	+	3.17
Ácido mirístico	14	+	0.77
Ácido palmítico	16	+	0.64
Ácido esteárico	18	+	0.60
Ácido oléico	18	-	1.34
Ácido linoléico	18	-	1.45

Tomado de Hamilton (23).

El ácido láurico (saturado C -12) fue superior a los otros. El ácido cáprico (saturado C - 10), oléico (insaturado c - 18) y linoléico (doble insaturado C ~ 18) forman una clase superior a mirístico (C - 14), palmítico (C - 16) y esteárico (C - 18) que son ácidos grasos saturados y bien conocidos por ser poco absorbidos por sí solos. Estos datos sugieren que la composición de ácidos grasos de las dietas influye fuertemente en la absorción de los carotenoides por las aves y que las grasas vegetales deben ser preferidas sobre las grasas animales para una máxima pigmentación. Las variaciones en la composición de la gra

sa adicionada a la dieta puede causar una pigmentación errática (23).

Sabido es que los depósitos adiposos y por consiguiente -- los carotenoides almacenados en ellos, están en constante evolución a lo largo de la vida. Por ésto, en el grado de pigmentación influyen no sólo la cantidad de xantofilas ingeridas durante la fase de engorda, sino también la época en que se ingieren; los carotenoides almacenados son en parte víctimas también del metabolismo del tejido adiposo. Se puede afirmar que cada tres semanas se produce una renovación de este tejido. Cabe suponer entonces que dure el mismo tiempo la despigmentación del pollo de engorda tras haber pasado a una ración exenta de xantofilas (27).

Es por esto recomendable el proporcionar a los animales -- las xantofilas cerca del momento del sacrificio, tomando en -- cuenta que una molécula de xantofila tarda 48 horas en depositarse en los tejidos adiposos después de haber sido ingerida -- (27).

Otro aspecto que puede afectar a la pigmentación de los pollos de engorda es el escaldado. Como es de todos conocido, -- existen en el mercado una serie de aditivos que se adicionan al agua de escaldado para incrementar la eficiencia de la remoción de las plumas, éstos aditivos tienen en común el incrementar el

pH a 7.9, 8.9 y 9.9 usando NaOH, no produce cambios en el contenido de xantofilas en la piel o en el color de la misma. Utilizando un aditivo comercial para dar un pH de 9.9 el valor de -- amarillamiento se incrementó y el contenido de xantofilas aumentó significativamente ( $p < .001$ ). Al utilizar agua únicamente para escaldar (pH 6.5) el contenido de xantofilas y el valor de -- amarillamiento fueron inferiores al ser comparado con el tratamiento con aditivos. Al utilizar agua a 54°C el contenido de -- xantofilas y el valor de amarillamiento fueron menores que cuando se utilizó agua a 50°C y 52°C con un pH de 9.5 (25).

f) Métodos para evaluar la pigmentación.- La habilidad para describir un color en términos simples es difícil o casi imposible. Lo que para una persona es verde menta para otra es -- verde lima; esto es especialmente verdadero en el rango de los colores encontrados en las yemas de los huevos y la piel de pollo. Descripciones del color tales como amarillo pálido, amarillo brillante, ámbar, rojo naranja, rojo quemado son usados comúnmente para designar algunos colores encontrados en estos productos. El problema real con la evaluación del color es que el observador está comparando un color particular con algo que ha visto. Sin embargo cada observador ve un color de una manera -- un poco diferente, en vista de estos problemas varios procedimientos han sido desarrollados para medir el color de la yema -- del huevo y la piel del pollo. La selección de método más adecuado deberá ser en función de alguna solución en particular, --

debido a que un sólo método no es adecuado para llenar todos -- los posibles requisitos. Algunos procedimientos describen el -- color final del producto; mientras que otros describen la depo-- sición del pigmento. Muchos procedimientos actuales no evalúan el producto final per se (Ej. yema de huevo o piel de pollo), -- sino que son utilizados para evaluar las propiedades potencia-- les de pigmentación de un alimento o un ingrediente específico (2, 16, 20).

Para aclarar la confusión asociada con la terminología, el diagrama de flujo que se muestra en la figura 2 aclara este concepto. Lo principal es la aclaración entre pigmentación (depo-- sición de xantofilas) y el color del producto final (16).

Precisar un color tiene tres dimensiones que pueden defi-- nirse o medir de la siguiente manera:

1. Matiz es el color mismo o croma
2. Saturación se refiere a la pureza de un color respecto al gris.
3. Brillo, esta dimensión es acromática y va de la presen-- cia de la luz a la oscuridad, es decir, las gradaciones tonales.

Los métodos para evaluar el color los podemos clasificar -- como directos o indirectos (2, 28, 29).

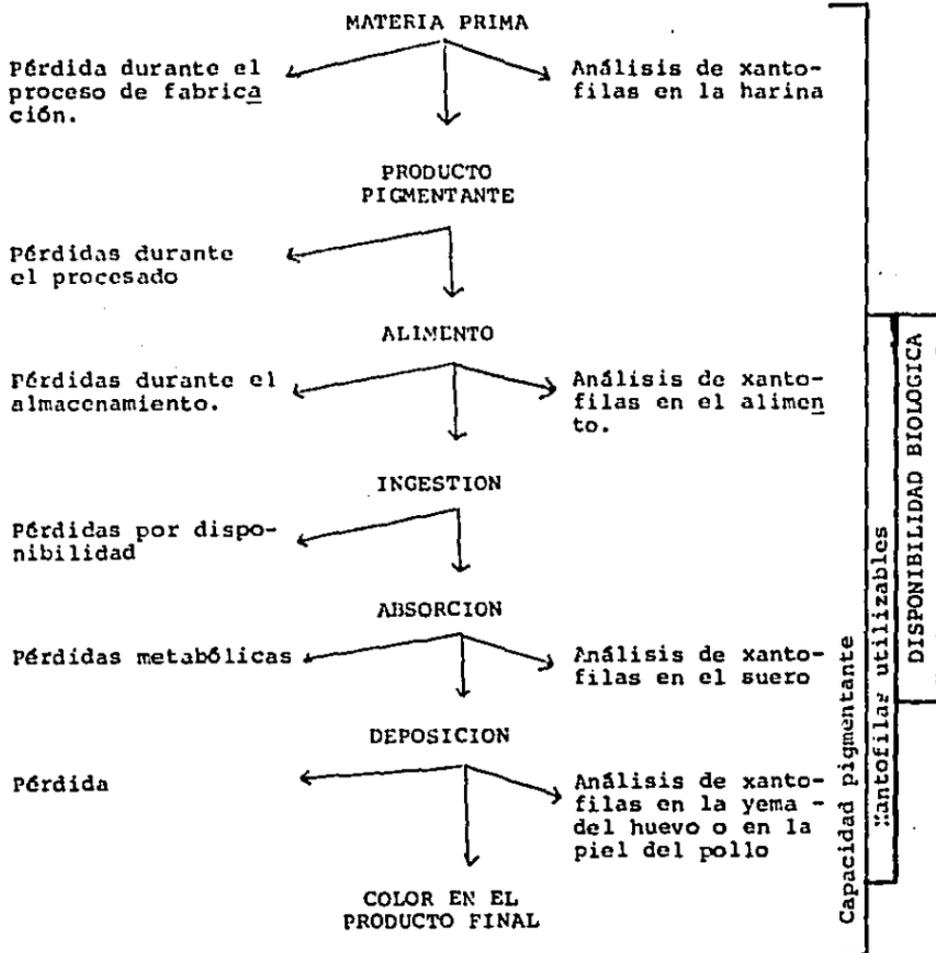
Indirectamente la pigmentación puede ser evaluada midiendo los niveles de xantofilas o las concentraciones de xantofilas - en la sangre, yemas de huevos y piel de pollo (28, 29).

Los resultados de estos métodos generalmente pueden correlacionarse satisfactoriamente con el color del producto. Estos métodos son generalmente espectrofotométricos e involucran la - extracción del pigmento con varios solventes seguido de una - - prueba espectrofotométrica a una longitud de onda dominante estándar. Heiman y Tighe en 1943 describieron la primera técnica para la evaluación de la piel de los tarsos de los pollos. El método de este tipo más ampliamente utilizado es el método numérico de la N.E.P.A. (National Egg and Poultry Association, Asociación Nacional de Productores de Pollo y huevo de los Estados Unidos de Norteamérica). Este método tiene una alta correlación con la apreciación visual del color de la yema del huevo - en el abanico colorimétrico de Roche (20, 28, 29).

En el Cuadro 4 se aprecia la relación que existe entre el método NEPA y el abanico colorimétrico de Roche.

FIGURA 2

DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS XANTOFILAS DESDE LA COSECHA  
HASTA EL COLOR FINAL EN PIEL Y TARSOS



Adaptado de Fletcher (16)

CUADRO 4

Relación existente entre el método NEPA y el abanico colorimétrico de Roche en la yema del huevo

Abanico de Roche	Escala NEPA
7.9	1 - 2
11.5	2 - 4
11.9	3 - 4
13.5	5

Tomado de Fry et al. (20)

Otro método es el de la AOAC (Association of Official Analytical Chemist, Asociación Oficial de Análisis Químicos). En este método el material de la yema del huevo extractado con acetona es comparado con un estándar de beta caroteno a 450 nm - - (28). Muchos investigadores han utilizado este método para determinar la mejor intensidad del color de la yema del huevo. Los datos obtenidos de este procedimiento se expresan en mcg de beta caroteno (20).

Otro método muy popular es el de la A.N.R.C. (Animal Nutrition Research Council, Consejo de Investigación en Nutrición -- Animal). En este método descrito por Marusich en 1967, se utiliza un extracto de yema de huevo en acetona-cloroformo y éste es comparado con el beta-apo-8' carotenal a 440 nm (28).

Estos métodos de extracción de pigmento tardan mucho tiempo, aunque son efectivos para indicar la cantidad de carotenoides depositados en los tejidos o en la yema del huevo pero no indican el color. También pueden ser clasificados como métodos objetivos ya que involucran la cuantificación de la concentración de xantofilas (28).

Todos tienen en común que requieren de una gran cantidad de equipo de laboratorio, consumen mucho tiempo y los datos obtenidos no indican el color de la muestra, (20, 28). Recientemente ha sido introducido con éxito un método por H.P.L.C. (Cromatografía de Líquidos a Alta Presión), por el Dr. Hamilton de la Universidad de Carolina del Norte, para determinar cualitativamente las xantofilas presentes en el alimento, yema de huevo y piel de pollo (50, 51).

El método simple de análisis de la pigmentación es referido como análisis directo subjetivo. Este análisis involucra la comparación visual subjetiva de la yema del huevo y la piel del pollo en un grupo de estándares. El primer estándar desarrollado con este propósito fue hecho por Kupsch en 1943 y por Heiman-Carver en 1935 (28).

Este método fue ampliamente utilizado por el USDA (United States Department of Agricultural, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica). Es un rotor que consig

te en un rango de 24 colores del blanco al rojo naranja. El -- abanico colorimétrico de Roche fue desarrollado primeramente en 1956 para la evaluación de la yema del huevo y en ocasiones los investigadores y los avicultores lo han empleado para evaluar - la piel del pollo. Con el transcurso de los años ha sido revisado y la última versión es la de 1987 (20).

Un procedimiento usual en Europa para valorar visualmente el color de las canales de los pollos de engorda es la prueba - de Rank; esta es una clasificación para evaluar la pigmentación de la piel de pollo. Consiste en dar un número determinado pre viamente de puntos a cada ave de acuerdo con las canales mejor pigmentadas, la desventaja primordial es que los resultados obtenidos con esta prueba no se pueden comparar con los resulta-- dos obtenidos en otros experimentos por lo que es de poca utili dad. (22, 27).

La evaluación subjetiva, utilizando estos estándares son - frecuentemente mirados de soslayo debido a las diferencias en - la percepción del color por las diferentes personas que están - juzgando el estudio en particular. Un método directo objetivo es el utilizar el colorímetro de reflectancia. Este ha sido - usado para evaluar la pigmentación de la piel de los tarsos de los pollos y yemas de huevos por muchos años en estudios reali-- zados por Universidades en los Estados Unidos de Norteamérica. Fry et al. (1969) observaron que el colorímetro de reflectancia

proporciona una metodología simple para la evaluación de la pigmentación (20). Fry y Damron desarrollaron un programa de computadora para convertir los datos del colorímetro de reflectancia que están dados en valores del sistema CIELAB de luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $a^*$ ) y amarillamiento ( $b^*$ ), a valores de longitud de onda dominante (DWL), excitación pura (EP) y luminosidad (lum), que son valores en que se expresa el sistema CIE de la - Commission Internationale de L'Eclairage (Comisión Internacional de la Iluminación). Estos datos describen el color, intensidad y brillantez de la muestra respectiva(20).

En los últimos años, una compañía japonesa ha introducido en el mercado una serie de colorímetros de reflectancia portátiles y que son posibles de utilizar al nivel de laboratorio o de rastro, debido a que la muestra no requiere mayor preparación, siendo esta la razón por la cual muchas compañías han comprobado este tipo de aparatos, mismos que empiezan a utilizarse para monitorear la pigmentación de la piel de los pollos de engorda y la yema del huevo (29).

Algunas de las ventajas que se obtienen al usar el colorímetro de reflectancia portátil son: a) elimina la fatiga de la persona que hace la lectura; b) elimina la subjetividad de las lecturas; c) elimina la variación entre diferentes lectores; d) tiene estándares de referencia; e) se expresan mínimas diferencias en forma numérica lo cual es esencial cuando hablamos del

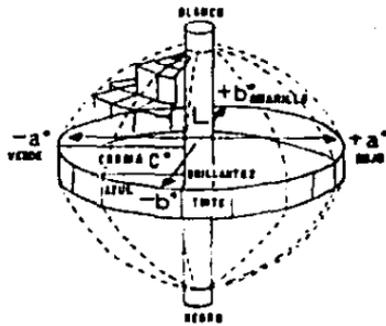
mismo color (2).

La forma en que el aparato funciona es dando tres valores numéricos que corresponden a un color determinado. Estos valores son  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  que deben leerse como: L,a,b, asterisco y -- que corresponden a la luminosidad ( $L^*$ );  $a^*$  y  $b^*$  son: el color o croma y se indican en 2 ejes;  $a^*$  es el eje de los rojos - verdes y  $b^*$  es el de los amarillos - azules. Los valores positivos en  $a^*$  corresponden al color rojo y los valores negativos al verde; así mismo los valores positivos de  $b^*$  son los amarillos y el valor negativo corresponde al azul, esto se puede entender fácilmente en la figura 3 (2).

En la figura 4 puede localizarse el color exacto del cual se está hablando con simplemente encontrar el punto de los ejes. La figura 5 sirve de guía para expresar el tono (2).

FIGURA 3

TABLA TRIDIMENSIONAL QUE MUESTRA LOS VALORES DEL SISTEMA CIELAB



# CIE 1976 L\*a\*b\* COLOR SPACE

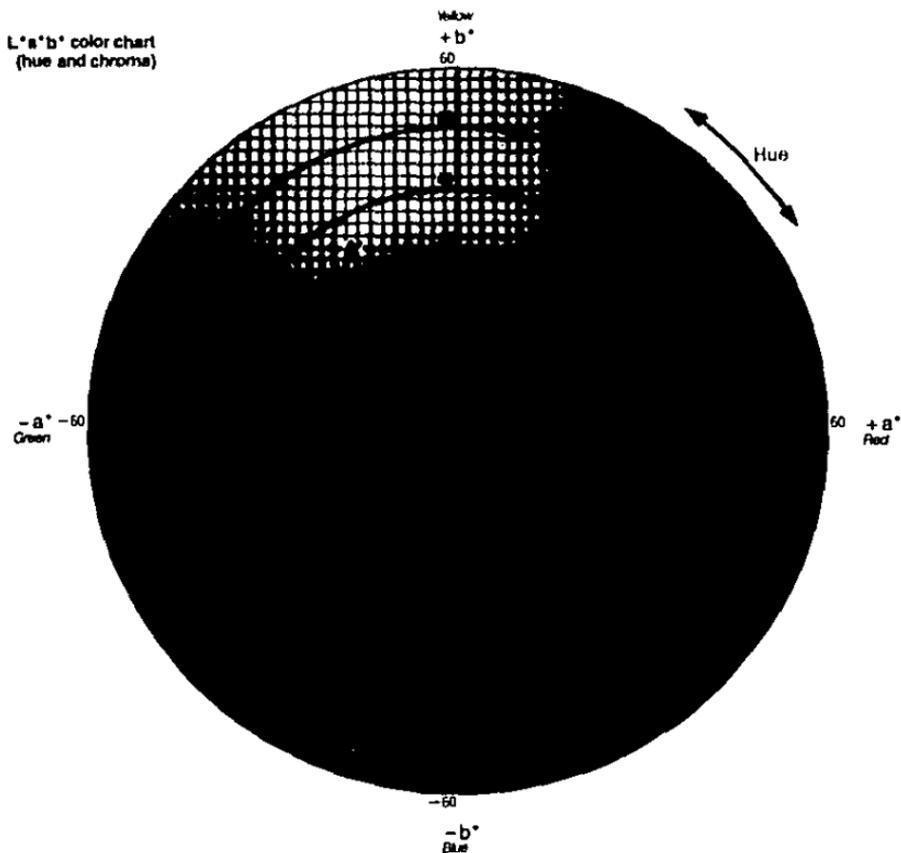
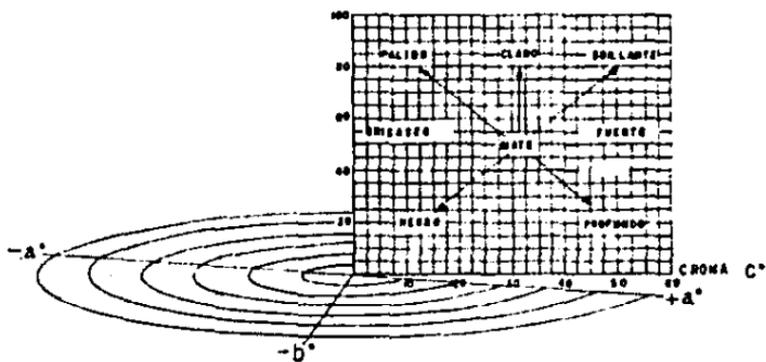


FIGURA 3

TABLA QUE SIRVE DE GUIA PARA EXPRESAR EL TONO DEL COLOR ENCONTRADO  
POR EL COLORIMETRO DE REFLECTANCIA



## MATERIAL Y METODOS

Se realizaron 3 experimentos en las instalaciones del Centro Experimental Pecuario "El Horno" en Chapingo, Estado de México, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de la S.A.R.H., los cuales se describen a continuación en forma individual:

### Experimento 1.

Se utilizaron 200 pollos de engorda sexados Arbor Acres, - mitad hembras y mitad machos de 28 días de edad, durante las -- primeras cuatro semanas de vida recibieron una dieta baja en -- pigmentos a base de sorgo - pasta de soya (dieta blanca). Los animales fueron distribuidos a los 28 días de edad conforme a - un diseño completamente al azar, en cinco tratamientos de cua-- tro repeticiones de 10 aves por cada unidad experimental en jay las en batería para aves en desarrollo en donde el agua y ali-- mento se les proporcionó a libre acceso.

Los tratamientos experimentales se pueden observar en el - Cuadro 5. Estos consistieron en cinco dietas con distintos ni-- veles de luteína (0, 20, 40, 60 y 80 mg/Kg), los que fueron adi-- cionados a una dieta basal baja en xantofilas (dieta blanca) a base de sorgo y pasta de soya, la cual aparece en el Cuadro 6.

Como fuente de luteína (color amarillo), se empleó a xantofilas hidrolizadas provenientes de flor de compasúchil. Todas las dietas experimentales cubrían por cálculo las necesidades de nutrientes que señala para pollo de engorda en etapa de finalización el N.R.C. de 1984 (35).

Semanariamente, desde la cuarta semana se tomaron el peso de los animales y el consumo de alimento; a partir de los cuales se obtuvo la ganancia de peso y se calculó la conversión alimenticia. Con objeto de valorar la evolución de la deposición del pigmento en los tarsos y la piel de la pechuga de los pollos, semanalmente se sacrificó una ave por cada repetición. A los 56 días de edad se sacrificaron las aves restantes con el mismo propósito. A las aves sacrificadas se les evaluó el color de la piel y tarsos con un colorímetro de reflectancia en el sistema CIELAB DE LA CIE y con el abanico colorimétrico de Roche.

El modelo al cual se le atribuyó el total de la variación en luminosidad, enrojecimiento y amarillamiento fue (48).

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + S_j + TS_{ij} + Sex_k + TSex_{jk} + E_{(ijk)l}$$

donde  $Y_{ijkl}$  es la  $l$ -ésima observación (luminosidad, enrojecimiento y amarillamiento) en el  $K$ -ésimo sexo, en la  $j$ -ésima semana y en el  $i$ -ésimo nivel de luteína,  $\mu$  es la media poblacional  $E_{(ijk)l}$  es el error aleatorio NID  $(0, \sigma^2)$ .

## CUADRO 5

Contenido de luteína calculado y analizado de los tratamientos al inicio del experimento 1 (28 días de edad).

Tratamientos	Calculado	Análisis del laboratorio* mg/Kg
1	0	1.23
2	20	18.53
3	40	35.90
4	60	49.14
5	80	74.15

\*Determinado en las dietas experimentales por el método descrito en la A.O.A.C. (1). En el Laboratorio Analítico de Laboratorios Bioquímex, S.A. de C.V.

CUADRO 6

Composición de la dieta basal para pollo de engorda  
en finalización utilizada en el experimento 1

INGREDIENTES		%
Sorgo	(8.5% PC)	65.08
Pasta de soya	(47.5% PC)	29.23
Ortofosfato de calcio	(20% Ca, 19% P)	1.97
Carbonato de calcio	(38% Ca)	1.39
Sal común		0.40
DL - metionina		0.15
Vitaminas a) 1/		0.20
Minerales traza a) 2/		0.10
Aceite vegetal		1.46
TOTAL		100.00
ANALISIS CALCULADO		
Proteína cruda		19.47
Lisina		1.01
Metionina + cistina		0.73
Calcio Total		1.03
Fósforo Total		0.70
Energía metabolizable Kcal/Kg		3003

a) (5,11). En cantidades por tonelada de alimento

1/ Vitamina A 8000000 U.I., Vit. D<sub>3</sub> 3000000 U.I., Vit. E 10000 U.I., Riboflavina 5 g, Niacina 25 g, Pantotenato de Ca 15 g, Cloruro de colina 450 g, Vit. K 2.2 g, Vit. B<sub>12</sub> 0.015 g.

2/ Sulfato de manganeso 225 g, Yoduro de Potasio 2.5 g, Carbonato de zinc 65 g, carbonato de calcio vehículo 16 g.

## Experimento 2.

Se emplearon 150 pollos sexados, machos y hembras 50% de cada sexo de 28 días de edad de la línea comercial Indian River. Estos animales durante los primeros 28 días de edad recibieron una dieta pobre en xantofilas a base de sorgo y pasta de soya. Al inicio del experimento se distribuyeron conforme a un diseño completamente al azar en cinco tratamientos con tres repeticiones de 10 aves cada uno, alojadas en jaulas en batería para pollos en desarrollo, donde se les ofreció agua y alimento a libre acceso.

Los tratamientos se encuentran en el Cuadro 7; éstos consistieron en la adición a una dieta basal de sorgo y pasta de soya baja en pigmento (dieta blanca) como se observa en el Cuadro 8, con 40 mg/Kg de luteína y 0, 2, 3 y 4 mg/Kg de capsantina y se empleó también como tratamiento comparativo a una dieta alta en luteína con 60 mg/Kg. Como fuente de luteína se empleó a xantofilas provenientes de flor de cempasúchil hidrolizadas y como fuente de capsantina extractos hidrolizados de frutos rojos de plantas del género Capsicum spp.

Cada semana de las cuatro de duración, se tomaron el consumo de alimento, el peso de los animales, con los que se calculó la conversión alimenticia. A los 56 días de edad fueron sacrificadas todas las aves en un rastro comercial ubicado en Tepejilol Rfo, Hidalgo, evaluándose la pigmentación en piel de la pe-

chuga y tarsos con un colorímetro de reflectancia Minolta CR -- 100 en el sistema CIELAB de la CIE. Los tarsos del lado derecho de cada ave fueron removidos y congelados a  $-15^{\circ}\text{C}$  y 15 días después fueron evaluados siguiendo las recomendaciones de D.L. Fletcher\* (1987) con el colorímetro de reflectancia Minolta CR 100 en el sistema CIELAB.

La técnica recomendada por Fletcher\* consiste en obtener la piel de los tarsos congelados. Con el bisturí se realizan 3 cortes en el tarso derecho; los dos primeros son circulares, el primero en la parte distal y el segundo en la parte proximal -- (figura 6) y el tercero es longitudinal en la parte anterior -- del tarso para unir los dos cortes transversales (figura 7), se quido se remueve la piel mediante incisión roma; se eliminan de la piel los tejidos adyacentes como tendones, ligamentos, nervios, arterias y venas (figura 8). Una vez limpio se coloca sobre una superficie blanca y resistente para tomar la lectura en la zona adyacente al espolón procurando que siempre sea la misma área para evitar variaciones (figura 9).

Los resultados obtenidos de las variables estudiadas en este experimento se analizaron de acuerdo con el siguiente modelo:  
(18)

---

\* D.L. Fletcher Comunicación personal.

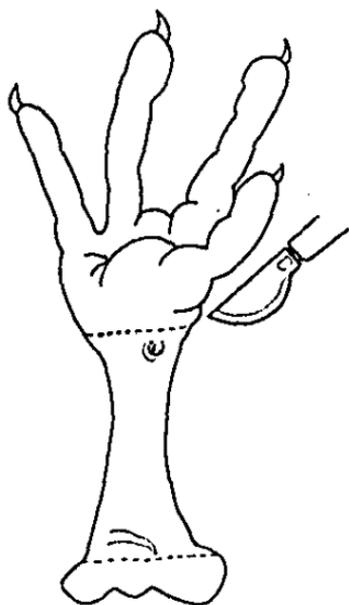


FIGURA 6

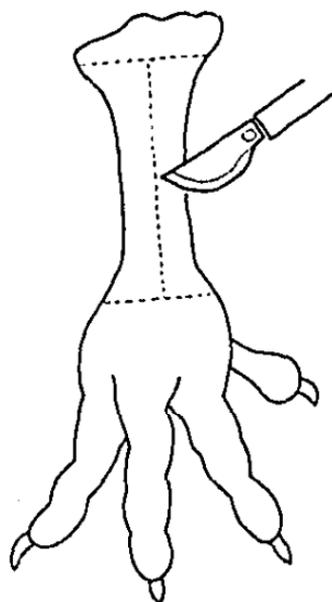


FIGURA 7

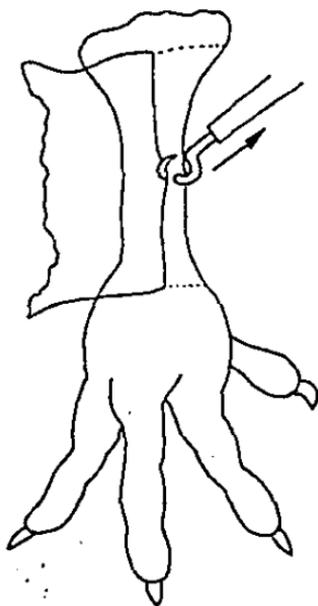


FIGURA 8

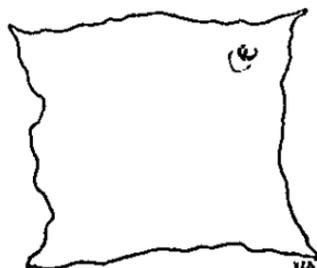


FIGURA 9

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + T_j + N_k + RN_{ik} + TN_{jk} + RTN_{ijk} + E_{(ijk)l}$$

donde

$Y_{ijkl}$  es la l-ésima observación asociada al k-ésimo nivel de -- tratamiento al j-ésimo tejido (piel y tarso) y a i-ésima réplica.

$\mu$  es la media poblacional

$E_{(ijk)l}$  es el error aleatorio (0,  $\sigma^2$ ).

#### CUADRO 7

Contenido calculado y analizado de luteína y capsantina de los tratamientos del experimento 2

TRATAMIENTO	XANTOFILAS ppm CALCULADO		ANALISIS DEL LABORATORIO*
	luteína	Capsantina	
1	60	0	57.33
2	40	0	39.61
3	40	2	44.09
4	40	3	45.34
5	40	4	46.21

\*Ver pie de cuadro 5.

## CUADRO 8

Composición de la dieta basal para pollos de engorda en  
finalización utilizadas en el experimento 2

Ingredientes		%
Sorgo	(8.5 % P.C.)	68.65
Pasta de soya	(47.5% P.C.)	2.51
Ortofosfato de calcio		2.15
Carbonato de calcio		1.18
Dl-metionina		0.19
L-lisina HCl		0.09
Accite vegetal		1.70
Sal común		0.40
Vitaminas a) 1/		0.11
Minerales a) 2/		0.05
TOTAL		100.00

## ANALISIS CALCULADO

Proteína cruda	19.00
Lisina	1.01
Metionina + cistina	0.72
Calcio total	1.04
Fósforo total	0.70
Energía metabolizable Kcal/Kg	3000.00

a) (5,11)

1/, 2/ Ver pie de Cuadro 6.

### Experimento 3.

Se utilizaron 270 gallinas de 40 semanas de edad de una línea comercial (Hy line W36) leghorn blancas, las cuales producen huevos de cascarón blanco. Las aves fueron distribuidas -- conforme a un diseño completamente al azar en un arreglo factorial de 3 X 3. El primer factor consistió en la adición de 3 -- niveles de luteína (6, 12 y 18 mg/Kg), el segundo factor la suplementación de 3 niveles de capsantina (0, 1.5 y 3 mg/Kg). Cada uno de los 9 tratamientos constó de 3 repeticiones con 10 -- aves cada una alojadas en jaulas individuales. El agua y el -- alimento se ofrecieron a libre acceso. Antes de iniciar el experimento y con objeto de agotar las reservas de pigmento en la yema del huevo, a las aves se les suministró durante 15 días -- una dieta baja en xantofilas (dieta blanca) a base de sorgo y -- pasta de soya (Cuadro 9). A partir del día 16 y durante 35 -- días consumieron la misma dieta basal pero adicionada con luteína y/o capsantina como se muestra en el Cuadro 10. Como fuente de luteína se empleó a las xantofilas hidrolizadas de la flor -- de compasúchil y como fuente de capsantina extractos hidrolizados de los frutos rojos de las plantas del género Capsicum spp.

Diariamente se registró el porcentaje de postura y peso de los huevos; variables que junto con el consumo de alimento se -- resumieron en forma semanal y a partir de las cuales se calculó la conversión alimenticia. Por lo que respecta a la pigmenta--

ción de la yema del huevo, cada semana de las 4 últimas de experimentación se hicieron lecturas del color con el abanico colorímetro de Roche de 1984 (apreciación visual) y con un colorímetro de reflectancia Minolta CR 100 en el sistema CIELAB de la CIE en 6 huevos por tratamiento (2 por cada repetición).

El modelo al cual se le atribuyó el total de la variación (46) fue:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + C_j + LC_{ij} + E_{(ij)k}$$

donde

$Y_{ijk}$  es la  $k$ -ésima observación asociada al  $j$ -ésimo nivel de luteína y al  $i$ -ésimo nivel de capsantina.

$\mu$  es la media poblacional y  $E_{(ij)k}$  es el error aleatorio - - - NID  $(0, \sigma^2)$ .

El mismo modelo fue empleado para el abanico colorimétrico de Roche cuando se utilizó, sin embargo debido a la naturaleza de la variable de respuesta (números del 1 - 15) por este método, no puede ser analizado conjuntamente en un solo modelo.

CUADRO 9

Composición de la dieta basal para gallinas de postura  
utilizada en el experimento 3

Ingredientes		%
Sorgo	(8.5 % P.C.)	68.92
Pasta de soya	(47.5% P.C.)	19.41
Ortofosfato de calcio		1.68
Carbonato de calcio		9.38
Dl- metionina		0.13
L - lisina HCl		0.03
Sal común		0.40
Vitaminas a) 1/		0.02
Minerales a) 2/		0.05
TOTAL		100.00

## ANALISIS CALCULADO

Proteína cruda	16.00
Calcio	4.00
Fósforo	0.57
Lisina	0.77
Metionina + Cistina	0.57
Energía metabolizable Kcal/Kg	2710.00

a) (5, 11) En cantidades por tonelada de alimento.

1/ Vitamina A 8000000 U.I., D<sub>3</sub> 3000000 U.I., Vit. E 5000 U.I.  
Vitamina K 2.2 g, Vitamina B<sub>12</sub> 0.010 g Riboflavina 4g Pantot  
tenato de calcio 4g, niacina 10 g colina 200g.

2/ Ver pie de Cuadro 6.

CUADRO 10

Niveles de luteína y capsantina adicionadas a la dieta de gallinas en producción en el experimento 3.

Tratamientos	XANTOFILAS	
	Luteína ppm	Capsantina ppm
1	6	0
2	12	0
3	18	0
4	6	1.5
5	12	1.5
6	18	1.5
7	6	3.0
8	12	3.0
9	18	3.0

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Experimento 1.

Los datos promedio correspondientes a la ganancia de peso y peso corporal aparecen en el Cuadro 11. El análisis estadístico (Cuadro 14) indicó que no existieron diferencias estadísticas ( $P > .05$ ) entre tratamientos. Se puede apreciar que todos los tratamientos experimentales resultaron en pesos similares. Esta información coincide con los resultados de muchos investigadores (4, 5, 18, 24, 49), quienes han demostrado que la adición de pigmentos en la dieta no tiene ningún efecto sobre el valor nutritivo.

En el Cuadro 12, aparecen los valores promedio de consumo de alimento en forma semanal y acumulada; así como la conversión alimenticia durante las 4 semanas de duración del experimento. Se puede observar que los consumos semanales por ave así como los consumos acumulados y la conversión alimenticia -- promedio en las 4 semanas de experimentación fueron similares -- (Cuadro 14) entre los distintos tratamientos; no existiendo para estas variables diferencias entre tratamientos ( $P > .05$ ).

En el Cuadro 13 están anotados los consumos semanales de xantofilas por ave expresadas en miligramos. Se puede apreciar

que el consumo de xantofilas fue mayor ( $P < 0.5$ ) a medida que se incrementó el nivel de xantofilas en 28 días fueron de 68.7, -- 142, 204 y 262.8 mg para los niveles de suplementación de 20, - 40, 60 y 80 ppm de luteína. Cabe señalar que el consumo de - - 4.11 mg de xantofilas en el tratamiento con 0 ppm de luteína se debe a que la dieta basal por análisis de laboratorio contenía 1.23 ppm (Cuadro 5). En el cuadro 14 se encuentra el análisis de varianza para peso corporal, ganancia de peso, consumo de -- alimento, consumo total de xantofilas y conversión alimenticia, notándose que hubo diferencias estadísticas ( $P < .05$ ) únicamente en el consumo total de xantofilas.

CUADRO 11

Resultados promedio de peso corporal y ganancia de peso del experimento 1\*

Tratamientos	Luteína ppm	Peso a los 28 días gramos	Peso a los 56 días gramos	Ganancia de peso 28-56 días - gramos
1	0	748	2026	1278
2	20	727	1994	1267
3	40	745	2069	1324
4	60	750	2055	1305
5	80	756	2039	1238

\* Los valores fueron estadísticamente iguales ( $P > .05$ ).

CUADRO 12

Consumo de alimento semanario y acumulado expresado en gramos durante la fase experimental por ave y conversión alimenticia.\*

NIVEL DE LUTEINA	CONSUMO SEMANARIO				CONSUMO ACUMULADO				CONVERSION
	DIAS DE EDAD				DIAS DE EDAD				
ppm	35	42	49	56	35	42	49	56	TOTAL
0	562	747	982	1958	562	1039	2291	3349	2.62
20	595	990	964	977	595	1495	2459	3436	2.71
40	595	891	987	1077	595	1486	2473	3550	2.68
60	576	912	963	957	576	1488	2451	3408	2.61
80	606	871	907	902	606	1477	2384	3286	2.56

\* Los valores fueron similares estadísticamente ( $P > .05$ ).

CUADRO 13

Consumo acumulado por semana de xantofilas por ave expresado en miligramos.

Tratamientos	Nivel Luteína ppm	DIAS DE EDAD			
		35	42	49	56
1	0	0.69a	1.61a	2.81a	4.11a
2	20	11.90b	29.90b	49.18b	68.72b
3	40	23.80c	59.44c	98.92c	142.00c
4	60	34.56d	89.28d	147.00d	204.00d
5	80	48.96e	118.16e	190.70e	262.80e

Valores con Literales distintas en la misma columna son diferentes ( $P < .05$ ).

CUADRO 14

Análisis de varianza para peso corporal, ganancia de peso, consumo de alimento, consumo de xantofilas y conversión alimenticia.

Fuente de la variación	Grados de libertad	Peso a los 56 días	Ganancia de peso	Conversión alimenticia	Consumo alimento	Consumo total de xantofilas
Tratamientos	4	0.002	3652.25	0.013	0.07	37194*
Error	15	0.011	10772.26	0.059	0.02	91
Totales	19					

\*( $P < .05$ )

En lo referente a la pigmentación de la piel de la pechuga medida por el colorímetro de reflectancia, en el Cuadro 15 están los resultados de la luminosidad ( $L^*$ ) evaluados a los 35, 42, 49 y 56 días de edad en la piel de la pechuga de los pollos sacrificados. El análisis estadístico (Cuadro 18) para cada semana, no indicó diferencias entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ); sin embargo en el análisis promedio de los datos existió diferencia estadística entre los tratamientos mostrando un valor menor las dosis altas de luteína; esto es debido a que un color más saturado refleja menos luz. Este efecto fue significativo para el efecto cuadrático y se explica a través de la ecuación:

$$Y = 64.6 + 0.04 T - 0.000938 T^2 \quad (R^2 = 0.13228)$$

CUADRO 15

Valores de luminosidad en la piel de la pechuga de pollos sacrificados a los 35, 42, 49 y 56 días de edad evaluados con un colorímetro de reflectancia.

Luteína	D I A S D E E D A D				Promedio
ppm	35	42	49	56	
0	64.12	64.22	67.32	64.02	64.92b
20	64.22	64.25	67.87	63.25	64.42b
40	65.72	64.45	65.67	66.67	65.62b
60	64.72	62.85	62.87	64.92	63.84ab
80	62.30	59.15	63.42	62.77	61.91a
	-----	-----	-----	-----	
Promedio	63.97 ab	62.63a	65.43b	64.33ab	

Valores con diferente literal dentro de efectos, son diferentes estadísticamente ( $P < .05$ ).

El análisis de los datos de enrojecimiento ( $a^*$ ) o la coloración roja, en la piel de la pechuga de los pollos sacrificados que están en el Cuadro 16, mostró diferencias significativas ( $P < .05$ ) entre tratamientos únicamente en las evaluaciones a los 49 y 56 días de edad, siendo los valores más altos a los 49 días para los pollos que consumieron la dieta baja en xantofilas. Esto puede deberse al color natural de la piel del po-

llo. En general los valores negativos a los 56 días de edad en las dietas que incluyeron luteína indican la ausencia de color rojo. Los valores promedio por tratamiento fueron diferentes ( $P < .05$ ). El tratamiento uno resultó ser el más rojo y el menos rojo el cinco. Esto es debido a que con la luteína o pigmento amarillo, como es el caso del tratamiento cinco que contiene por cálculo 80 ppm aumenta esta tonalidad y se desaparece el color rojo, habiéndose disminuido en forma lineal esta coloración ( $P < .05$ ), explicado este efecto por la ecuación:

$$Y = -0.1125 - 0.03591 t \quad (R^2 = 0.21345)$$

CUADRO 16

Valores de enrojecimiento ( $a^*$ ) en la piel de la pechuga de pollos sacrificados a los 35, 42, 49 y 56 días de edad evaluado con el colorímetro de reflectancia.

Tratamiento	Luteína ppm	EDAD AL SACRIFICIO (DIAS)				Promedio
		35	42	49	56	
1	0	0.35a	-0.45a	1.62b	0.4a	0.45a
2	20	-2.30a	-2.75a	1.00b	-1.45a	-1.37cb
3	40	-3.97a	-1.15a	-1.77a	-2.57b	-2.36c
4	60	-1.12a	-2.82a	-0.12a	-1.00ab	-1.26b
5	80	-2.07a	-4.12a	-3.07a	-3.47b	-3.18c
Promedio		-1.83ab	-2.28b	-0.47a	-1.62ab	

Valores con distinta literal dentro de efectos, son significativos ( $P < .05$ ).

En el Cuadro 17 se encuentra los valores promedio de amarillamiento en la piel de la pechuga de los pollos de este experimento.

Se observa, que existieron diferencias entre tratamientos - ( $P < .05$ ) a partir de la primera semana de suplementación de luteína (35 días de edad) y que estas diferencias persistieron a lo largo de las cuatro semanas de experimentación, notándose -- desde la primera lectura un menor valor de amarillamiento en -- los niveles de suplementación de 0 y 20 ppm de luteína ( $P < .05$ ).

CUADRO 17

Valores de amarillamiento (b\*) medido con el colorímetro de reflectancia en piel de pollos sacrificados a diferentes días de edad.

EDAD AL SACRIFICIO (DIAS)

Tratamiento	Nivel de luteína ppm	35	42	49	56	Promedio
1	0	6.85a	7.35a	8.17a	5.20a	6.89a
2	20	8.40a	11.82a	20.32b	17.70b	14.56b
3	40	16.82b	27.47b	27.75bc	31.10c	25.78c
4	60	22.20b	22.00b	31.92c	33.62c	27.43c
5	80	18.52b	26.12b	35.32c	32.63c	28.14c
Promedio		14.56a	18.95a	24.70b	24.05ab	

Valores dentro de efectos con distinta literal, son significativas estadísticamente ( $P < .05$ ).

Así como los valores similares de este color amarillo para 40, 60 y 80 ppm de luteína. El comportamiento de los pollos en cuanto a la coloración amarilla en piel en las distintas fechas en que se evaluaron (35, 42, 49 y 56 días de edad), se puede -- apreciar también que a niveles de luteína de 60 y 80 ppm el color en la piel se estabiliza a los 21 días (49 días de edad) y que a una menor suplementación de luteína (40 ppm) el tiempo necesario para alcanzar el color es de 28 días (56 días de edad). Sin embargo, al observar el consumo acumulado de xantofilas -- (Cuadro 13) por ave, el tratamiento que contenía 40 ppm a los -- 28 días (56 días de edad, consumió una cantidad similar de xantofilas al tratamiento que fue suplementado con 60 ppm en 21 -- días (49 días de edad, 140 mg/Kg aproximadamente) y al incrementar la dosis de xantofilas en una alta concentración son depositadas en su totalidad en el tejido subcutáneo o en los tarsos. Esto está de acuerdo con el trabajo realizado por Tirado et al. (49), en el cual suministraron altas cantidades de xantofilas -- en el agua de bebida, siendo mejor el tratamiento que se administró mayor tiempo con menos concentración.

Al comparar los promedios de amarillamiento al final del -- estudio se observa que el color amarillo fue similar, entre los tratamientos que incluían 40, 60 y 80 ppm de luteína, también -- se observa que 20 ppm de luteína resultó con un mayor color que 0 ppm ( $P < .05$ ).

Se encontró que para el promedio de amarillamiento de los datos una ecuación cuadrática ( $P < .05$ );  $Y = 6.13339 + 0.612977 T - 0.00419 T^2$  ( $R^2 = 0.65975$ ), describía el tipo de respuesta en esta variable, con la cual se determinó que el nivel óptimo de luteína para una máxima coloración amarilla en piel era de 73.09 mg/Kg; sin embargo, al analizar únicamente la pigmentación final de los pollos a los 56 días de edad, que correspondería a la venta de los pollos en el mercado, se encontró que el efecto a color amarillo se explica a través de la ecuación  $Y = 4.484 + 0.8949t - 0.067 t^2$  ( $R^2 = 0.9366$ ), con la cual se pudo determinar para este experimento que el nivel óptimo de luteína para una máxima saturación es de 66.7836 ppm.

El hecho de no haber encontrado diferencias en el color -- amarillo de la piel entre 40, 60 y 80 ppm de luteína, coincide con experiencias de campo sobre pigmentación, en donde se ha -- concluido que en dietas para pollos de engorda se logra una buena pigmentación con el empleo de 40 a 60 ppm de luteína.

Por otro lado el haber obtenido a través de la ecuación de los datos del color amarillo, que 66.8 ppm de luteína es el nivel óptimo en la dieta para una máxima pigmentación, cae dentro del valor de 60 ppm de xantofilas empleadas en alimentos para pollos de engorda en lugares donde el mercado exige una máxima coloración.

En el Cuadro 18 se encuentran los análisis de varianza correspondientes a los datos de coloración de la piel de la pechuga para luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $a^*$ ) y amarillamiento ( $b^*$ ).

Los valores de luminosidad mostrados en el Cuadro 19 para los tarsos de aves sacrificadas a distintas edades mostraron únicamente diferencias estadísticas (Cuadro 22) ( $P < .05$ ) en los valores promedio. Los valores numéricos menores corresponden a los tratamientos que consumieron una mayor cantidad de xantofilas (tratamientos 2, 3, 4 y 5), e indicaron que hubo deposición de lutefna, ya que un color más saturado refleja menos luz (2).

CUADRO 18

Análisis de varianza para luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $b^*$ ) y amarillamiento ( $b^*$ ), en piel de pollos sacrificados y evaluados con el colorímetro de reflectancia.

## CUADRADOS MEDIOS

Fuente de la variación	Grados de libertad	Luminosidad $L^*$	Enrojecimiento $a^*$	Amarillamiento $b^*$
Tratamientos	4	28.5+	29.9++	1419.9++
Lineal	1	70.3++	82.5++	4908.4++
Cuadrático	1	31.6	4.2	630.5++
Cúbico	1	5.1	23.8	32.3
Residual	1	7.1	9.3	108.3
Semanas	3	26.8	11.9+	452.6++
Lineal	1	15.1	5.9	1170.7++
Cuadrático	1	0.3	2.4	127.3+
Residual	1	65.1++	27.3++	60
Trats. X Semanas	12	7.6	4.1	50.9+
Sexo	1	0.03	1.7	26.6
Trats. X Sexo	4	10.5	1.3	14.8
Semanas X Sexo	3	2.4	2.2	39.5
Error	52	8.2	3.2	23.7
Totales	79			

+ Diferencias significativas ( $P < .05$ )

++ Diferencias altamente significativas ( $P < .01$ )

CUADRO 19

Valores para Luminosidad (L\*) de tarsos de aves sacrificadas y evaluadas con el colorímetro de reflectancia.

Tratamiento	Luteína ppm					
1	0	77.50	78.02	78.60	77.70	77.97a
2	20	72.72	73.50	76.35	73.40	73.99b
3	40	74.85	73.93	77.32	79.95	74.93b
4	60	74.85	73.72	76.65	75.07	75.07b
5	80	74.27	71.18	75.50	76.05	74.41b
		-----	-----	-----	-----	
Promedio		74.78a	74.07a	76.92a	75.34a	

Valores con diferente literal dentro de efectos son estadísticamente significativos ( $P < .05$ ).

En los valores de enrojecimiento (a\*), de los tarsos de las aves sacrificadas mostrado en el Cuadro 20, se observaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 22), entre tratamientos en las distintas edades de sacrificios. Existiendo una variable inconsistente en el tratamiento uno, observándose sin embargo en general, que el enrojecimiento disminuye (valor menos negativo), a medida que transcurren los días de experimentación. Para los valores promedio por tratamiento, los tratamientos 1 y 5 fueron iguales estadísticamente pero diferentes -

a los tratamientos 2, 3 y 4. Numéricamente se observa (valor negativo menor) que el tratamiento 1 resulta ser mejor, probablemente debido al color rosado natural de la piel. Sin embargo, al comparar el color únicamente a los 56 días de edad como criterio de respuesta no existieron diferencias entre tratamientos ( $P > .05$ ) como se ve en el Cuadro 22 y debido también a que no se adicionó ningún pigmento rojo en las dietas.

CUADRO 20

Valores de enrojecimiento (a\*) de tarsos de aves sacrificadas a diferentes edades evaluados con el colorímetro de reflectancia.

## EDAD AL SACRIFICIO (DIAS)

Tratamiento	Luteína ppm	35	42	49	56	Promedio
1	0	-2.75a	-4.02a	-1.75b	-1.40a	-2.48b
2	20	-2.75a	-5.62a	-4.35a	-4.02a	-4.18b
3	40	-6.37b	-5.67a	-4.92a	0.0 a	-4.24b
4	60	-6.72b	-3.75a	-2.25b	-0.52a	-3.36b
5	80	-7.27b	-4.37a	-0.92b	-0.45a	-3.25a
Promedio		-5.17c	-4.37c	-2.48b	-1.28a	

Valores dentro de efectos con diferente literal, son distintas estadísticamente ( $P < .05$ ).

En el Cuadro 21 están los valores encontrados para el amarillamiento (b\*) de tarsos. Se aprecia que fueron superiores -

los valores del color en los tratamientos que inclufan una mayor cantidad de lutefna. Además de que también lo fueron cronológicamente excepto para el grupo testigo y para el tratamiento 3 a los 49 días de edad, ya que para este tratamiento a los 56 días de edad volvió a ser superior el amarillamiento. En el tratamiento 2 que consumió 20 ppm de lutefna a los 56 días de edad tiene un valor semejante al tratamiento 4 a los 49 días de edad. Esto es debido al consumo acumulado de xantofilas por cada uno de los tratamientos, demostrándose así que lo importante es la cantidad de xantofilas consumidas en un período de tiempo dado, cercano a la edad de sacrificio, así como la fuente de pigmento utilizada, estando esto de acuerdo con el trabajo de Vera et al. en el cual se compararon diferentes fuentes de xantofilas líquidas en el agua de bebida y en polvo en el alimento, demostrando que el tiempo de consumo es menos importante que la cantidad y la calidad de la misma (52).

Todos los tratamientos presentaron un efecto a dosis en el análisis estadístico ( $P < .05$ ) encontrándose que la ecuación que explica el efecto del color amarillo es:

$$Y = 13.73 + 1.253 t - 0.00972t^2 \quad (R^2 = 0.783)$$

de donde resultó que el nivel óptimo de lutefna es de 68.05 ppm para una máxima coloración amarilla en los tarsos evaluados con el colorímetro de reflectancia. Sin embargo, si únicamente se analizan los datos de amarillamiento a los 56 días de edad, fecha en que terminó el estudio y que corresponde al momento de -

su venta al mercado, la ecuación resultante es;

$$Y = 14.66 + 1.59 t - 0.012 t^2 \quad (R^2 = 0.8705)$$

dando como resultado un nivel óptimo de 63.99 ppm de luteína para una máxima coloración amarilla en los tarsos.

CUADRO 21

Valores de amarillamiento (b\*) para tarsos de aves sacrificadas y evaluadas con el colorímetro de reflectancia a diferentes edades.

Tratamiento	Luteína ppm	EDAD AL SACRIFICIO (DIAS)				Promedio
		35	42	49	56	
1	0	10.10a	13.55a	15.45a	9.47a	12.13a
2	20	27.47b	34.77b	43.92b	47.58b	38.43b
3	40	37.22c	49.90c	47.82b	59.83c	48.68c
4	60	43.55d	52.00c	60.05c	57.67c	53.06cd
5	80	46.30d	52.75c	62.12d	65.80c	56.51d
Promedio		32.93a	40.40ab	45.69ab	48.07b	

Valores dentro de efectos con diferente literal, son estadísticamente diferentes ( $P < .05$ ).

En el Cuadro 22 se encuentran los análisis de varianza de amarillamiento (b\*), enrojecimiento (a\*) y luminosidad (L\*) en los tarsos de las aves sacrificadas.

La información del color amarillo en la piel y tarsos de los pollos en donde se determinó que 60 ppm de luteína empleada en la dieta resulta en una mayor pigmentación, está de acuerdo con valores usualmente empleados en las dietas de finalización a nivel práctico para lograr un máximo de color amarillo en la piel y tarsos de los pollos utilizando únicamente en la dieta xantofilas amarillas como la luteína. Esta información de que la luteína produce una tonalidad amarilla en piel y tarsos de pollos de engorda confirma los trabajos realizados por muchos investigadores (16, 18, 22, 24, 27, 49, 50, 51, 52) y también reafirma lo informado en la literatura (3, 6, 8, 13, 17, 21, 22, 27, 32, 34) de que la xantofila predominante en la flor de camasúchil es la luteína.

En el Cuadro 23, se pueden observar los valores promedio de la evaluación hecha con el abanico colorimétrico de Roche de 1979 en la piel de los pollos sacrificados a diferentes edades.

Los resultados muestran que existieron diferencias estadísticas significativas ( $P < .05$ ) entre tratamientos (Cuadro 25).

El tratamiento 1, el cual recibió la dieta sin adición de xantofilas se le dió un valor de 0 en todas las lecturas a las diferentes edades, por considerarse que el color de la piel de pollo no era semejante a ninguna de las hojas de la escala del abanico colorimétrico de Roche de 1979 de apreciación visual --

del color.

Se puede observar que el tratamiento 5, obtuvo la calificación más alta en las distintas fechas de sacrificio y que a partir de los 42 días de edad se logró el valor máximo en la escala. También se nota que en los tratamientos 3 y 4 cada semana, se incrementó el valor de la coloración. También es evidente que a los 56 días de edad el color fue similar entre el tratamiento 3 y 4; este último también fue igual en valor al tratamiento 5 ( $P > .05$ ).

CUADRO 22

Análisis de varianza para Luminosidad (L\*), Enrojecimiento (a\*) y Amarillamiento (b\*) en tarsos de aves sacrificadas.

Fuente de la variación	Grados de libertad	L*	a*	b*
Tratamiento	4	39.31+	8.6+	5127++
Lineal	1	58.81+	0.84	17097++
Cuadrático	1	38.78	23.79++	3039.5++
Cúbico	1	52.3+	9.41	365.2++
Residual	1	0.64	0.23	6.3
Semana	3	29.33	64.5++	901.1++
Lineal	1	20.61	184.3++	2573.2++
Cuadrático	1	3.87	6.2	129.6+
Residual	1	63.52	3.1	0.5
Trats. X Semana	12	5.02	12.2++	81.8++
Sexo	1	10.22	0.8	15.3
Trats. X Sexo	4	32.74	2.5	25.1
Semana X Sexo	3	13.75	0.8	25.8
Error	52	10.22	2.7	25.6
TOTAL	79			

+ Valores significativos ( $P < .05$ ).

++ Valores altamente significativos ( $P < .01$ ).

CUADRO 23

Valores promedio en piel de pollos sacrificados y evaluados con el abanico colorimétrico de Roche de 1979.

Tratamiento	Lutefna	EDAD AL SACRIFICIO (DIAS)				Promedio
		36	42	49	56	
1	0	0.00e	0.00e	0.00e	0.00e	0.00e
2	20	1.00d	1.25c	1.25c	2.00c	1.37d
3	40	1.00d	1.62c	2.00c	3.75b	2.09c
4	60	1.00d	1.62c	4.00ab	4.50ab	2.78b
5	80	1.25c	4.12ab	4.75a	4.75a	3.71a
Promedio		0.85d	1.72c	2.40b	3.00a	

Valores dentro de efectos con distinta literal, son diferentes estadísticamente ( $P < .05$ ).

Con esta evaluación se detecta que suministrar 80 ppm de lutefna durante 14, 21 ó 28 días es igual que suministrar 60 ppm de lutefna durante 21 ó 28 días, esto es debido quizás al consumo total de xantofilas por ave ya que al consumirse en altas cantidades no todas son depositadas en su totalidad en la piel o tarsos de las aves, estando ésto de acuerdo con lo encontrado por Tirado et al. (49).

Los resultados promedio del color mostraron una respuesta

lineal significativa ( $P < .05$ ) Cuadro 25, sin encontrarse una saturación. Sin embargo, tomando como base la información del color a los 56 días de edad, se puede ver que no existe diferencias entre 60 y 80 ppm de luteína y que la coloración con 40 ppm de luteína resultó ser similar a la de 60 ppm, siendo esto diferente a lo encontrado con el colorímetro de reflectancia, debido a que el ojo humano no tiene la resolución para diferenciar los colores con la misma exactitud que el colorímetro de reflectancia, indicando esto que la evaluación con el abanico colorimétrico diseñado para evaluar el color de la yema del huevo, en el caso de la piel del pollo de engorda puede ser totalmente subjetiva y depende de la apreciación del color de la persona que lo califica.

En el Cuadro 24, se encuentran los valores promedio de los tarsos derechos de las aves sacrificadas a diferentes días de edad y evaluados con el abanico colorimétrico de Roche de 1979.

Se puede observar en el análisis de varianza del Cuadro 25, que existieron diferencias estadísticas entre tratamientos - - ( $P .05$ ).

Al igual que en la piel de la pechuga al tratamiento 1, se le dio un valor de 0 por considerarse que el color de la piel del tarso, no correspondía a ninguna de las hojas del abanico colorimétrico.

En general se aprecia, que la coloración aumentó semanalmente y que a partir de los 49 días el color se estabilizó. Esto fue debido a que en el tratamiento 4 y 5, los valores a los 49 días de edad fueron superiores que los respectivos valores a los 56 días de edad.

Con el tratamiento 5 a los 14 días de consumo (42 días de edad), se obtuvo la misma calificación que los tratamientos 3 y 4 a los 28 días de consumo de xantofilas (56 días de edad); sin embargo, el consumo total de xantofilas fue muy diferente en estos tratamientos.

CUADRO 24

Valores promedio en tarsos de pollos sacrificados a diferente edad evaluados con el abanico colorimétrico de Roche de 1979.

Tratamiento	Nivel de luteína ppm	EDAD AL SACRIFICIO (DIAS)				Promedio
		36	42	49	56	
1	0	0.00g	0.00g	0.00g	0.00g	0.00e
2	20	1.00g	1.25e	3.00df	3.25df	2.12d
3	40	1.50e	3.25df	4.00d	5.25c	3.50c
4	60	1.50ef	3.37df	6.00bc	5.25c	4.03b
5	80	2.50ef	5.25c	7.50a	6.50ab	5.43a
Promedio		1.30c	2.62d	4.10a	4.05a	

Valores dentro de efecto con distinta literal son diferentes estadísticamente ( $P < .05$ ).

Los tratamientos 3 y 4 a los 14 días de consumo (12 días - de edad) obtuvieron una calificación semejante, pero el consumo total de xantofilas fue muy diferente como se aprecia en el Cuadro 13 (89 vs 59 mg) y esta misma calificación fue asignada al tratamiento 2 a los 49 y 56 días de edad, a pesar de que el consumo total de xantofilas es diferente. También se ve que a los 56 días el color fue menor que a los 49 días en los tratamientos 4 y 5.

En el análisis de varianza del Cuadro 25, para la coloración promedio, muestra respuesta lineal a niveles de luteína.

Si la observación es hecha a los 56 días de edad, tiempo - de venta al mercado de los animales, la información con el abanico de Roche indica que 40 y 60 ppm de luteína resultan en un mismo color y que con 80 ppm se obtiene una mejor pigmentación. Esta información, no coincide con la obtenida con el colorímetro de reflectancia, debido probablemente a como se indicó anteriormente por la subjetividad de este abanico en relación con - el colorímetro de reflectancia; lo que indica que no existe correlación alguna entre ambos cuando se evalúa el color y que para fines de mayor precisión en pollos no debería ser empleado - el abanico para evaluar la pigmentación en piel.

CUADRO 25

Análisis de varianza para la evaluación hecha con el abanico colorimétrico de Roche de 1979 en la piel y tarso derecho de las aves sacrificadas a diferentes días de edad.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	
		Piel	Tarsos
Tratamientos	4	31.85**	63.13**
Lineal	1	125.16**	237.61**
Cuadrático	1	0.93	5.55
Cúbico	1	1.31	4.12
Semanas	3	51.15	96.55**
Trts. X Semana	12	3.09**	3.34**
Error Tarsos	58		0.54
Error Piel	60	0.35	
Totales Tarsos	77		
Totales Piel	79		

\*  $p < .05$

\*\*  $p < .01$

### Experimento 2.

En el Cuadro 26, se pueden ver los valores promedio de peso corporal a los 56 días de edad y la ganancia de peso de los 29 a los 56 días de edad.

El análisis estadístico en el Cuadro 28, indicó que existieron diferencias ( $P < .05$ ) entre tratamientos para el peso corporal a los 56 días de edad.

El hecho de encontrar diferencias estadísticas para peso corporal es probable que se haya debido a que en los tratamientos 1 y 2 comenzaron con un mayor peso a las cuatro semanas; ya que para ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia durante la etapa experimental de 29 a 56 días de edad no se encontraron diferencias estadísticas ( $P > .05$ ) como se observa en los Cuadros 26 y 27 respectivamente.

En el Cuadro 27 se presentan los valores promedio para el consumo acumulado de xantofilas, observándose diferencias estadísticas ( $P < .05$ ) entre el tratamiento que consumió 60 ppm y los tratamientos que recibieron 40 ppm de xantofilas amarillas con 0, 2, 3 y 4 ppm de xantofilas rojas respectivamente.

En el Cuadro 29, están las medias generales por tratamiento para Luminosidad ( $L^*$ ) medida en piel y tarsos, observándose que existieron diferencias estadísticas ( $P < .05$ ) en esta varia-

ble en piel pero no en tarsos. El hecho de no existir diferencias en tarsos como se encontró en el Experimento 1, que al -- agregar una mayor cantidad de xantofilas se refleja menos luz, caso que en este experimento no sucedió está en desacuerdo con

CUADRO 26

Valores promedio de peso corporal a los 56 días de edad y ganancia de peso de los 29 a los 56 días de edad.

Tratamiento	Nivel de Xantofilas		Peso corporal a los 56 días  gramos	Ganancia de peso de 28 a 56 días  gramos
	Amarillas  ppm	Rojas		
1	60	0	2213.33b	1375
2	40	0	2146.66a	1393
3	40	2	2107.33c	1364
4	40	3	2090.00d	1345
5	40	4	2090.00d	1346

Valores con distinta literal en la misma columna, son diferentes ( $P < .05$ ).

CUADRO 27

Valores promedio para consumo de alimento, consumo acumulado de xantofilas y conversión alimenticia de 4 a 8 semanas de edad de las aves del Experimento 2.

Tratamiento	Nivel de Xantofilas		Consumo de alimento	Consumo acumulado de xantofilas	Conver-- sión ali- menticia
	Amarillas	Rojas			
	ppm		gramos	mg	
1	60	0	3368	202a	2.48
2	40	0	3434	137b	2.46
3	40	2	3276	137b	2.39
4	40	3	3223	142b	2.47
5	40	4	3300	146b	2.47

Valores con distinta literal en la misma columna, son diferentes ( $P < .05$ ).

CUADRO 28

Análisis de varianza para peso corporal a los 56 días de edad, ganancia de peso de 29 a 56 días de edad, consumo de alimento, consumo de xantofilas y conversión alimenticia.

Fuente de variación	Grados de libertad	Peso corporal	Ganancia de peso	Consumo de alimento	Consumo de xantofilas	Conver- sión ali- men- ticia
Tratamiento	4	1620	1229	10047	2637	0.0049
Error	10	0.433	1904	8237	107	0.0030
Total	14					

diferentes autores (18, 20, 28, 39), quienes han observado que al agregar una mayor cantidad de xantofilas en la dieta, el valor de la luminosidad disminuye. En este experimento, se observó que con el tratamiento que recibió la menor suplementación de xantofilas, sin capsantina se obtuvo la mayor Luminosidad -- ( $L^*$ ) y el menor valor se encontró en las aves que recibieron -- las dietas con 40 ppm de luteína y 3 ppm de capsantina; es probable que la luminosidad no sea una variable sensible cuando se incluyen diferentes fuentes de pigmentos en las aves.

En el Cuadro 30, están las medias generales para enrojecimiento ( $a^*$ ) de la piel y tarsos de los pollos sacrificados a -- los 56 días de edad. No existieron diferencias ( $P > .05$ ) en -- piel, ni observándose ninguna tendencia en los valores encontrados. Sin embargo, en los tarsos sí se presentó diferencias en el color ( $P < .05$ ) siendo el tratamiento 4, que recibió 40 ppm de luteína más 3 ppm de capsantina el que tuvo mayor enrojeci-- miento.

En general entre los tratamientos suplementados con las -- xantofilas rojas, se aprecia un incremento de  $a^*$  a medida que -- aumenta la dosis en la dieta hasta llegar a 3 ppm donde alcanza su máximo valor por lo que posiblemente después de esta canti-- dad, se presenta una saturación y un cambio de color debido a -- que existió una mayor afinidad de las xantofilas rojas para de-- positarse en estos tejidos (mayor que la afinidad para deposi--

tarse en piel).

CUADRO 29

Medias generales para luminosidad (L\*) evaluada en piel y tarsos con un colorímetro de reflectancia.

Tratamiento	Nivel de Xantofilas		Piel	Tarsos
	Amarillas	Rojas ppm		
1	60	0	62.94a	72.21
2	40	0	65.36b	73.78
3	40	2	64.60b	73.02
4	40	3	62.49a	71.78
5	40	4	<u>62.36b</u>	<u>71.81</u>
Promedio			63.72	72.49

Valores con distinta literal en la misma columna son significativos ( $P < .05$ ).

CUADRO 30

Medias generales para enrojecimiento (a\*) evaluado en piel y tarsos con un colorímetro de reflectancia.

Tratamientos	Nivel de Xantofilas		Piel	Tarsos
	Amarillas	Rojas ppm		
1	60	0	-0.96	2.45ab
2	40	0	0.26	1.11a
3	40	2	-0.12	2.73ab
4	40	3	0.61	3.31b
5	40	4	0.35	2.99ab
Promedio			0.04	2.63

Valores con distinta literal son diferentes ( $P < .05$ ).

En el Cuadro 31, están las medias generales para el amarillamiento evaluado en piel y tarsos de los pollos sacrificados a los 56 días de edad con el colorímetro de reflectancia.

El análisis de varianza Cuadro 32, indicó que existieron diferencias estadísticas ( $P < .05$ ) en los tarsos, siendo el mayor valor en el tratamiento que recibió 60 ppm de luteína. Los tratamientos 4 y 5 fueron los que menor color tuvieron en tarsos. Debido ésto a la mayor cantidad de color rojo (Cuadro 30) en los tarsos, por existir quizá una mayor habilidad de la capsantina para depositarse en los tarsos que en la piel de la pechuga.

El hecho de no encontrar diferencias en el color amarillo entre 40 y 60 ppm de luteína, confirma lo observado en el experimento 1, de que la suplementación de luteína a 40 ó 60 ppm en la dieta de los pollos de 4 a 8 semanas de edad resulta en una pigmentación similar.

CUADRO 31

Medias generales para amarillamiento (b\*) evaluado en piel y --  
tarsos con un colorímetro de reflectancia.

Tratamiento	Nivel de Xantofilas		Piel	Tarsos
	Amarillas	Rojas		
ppm				
1	60	0	25.53	58.23a
2	40	0	26.72	56.46 ab
3	40	2	23.86	56.74ab
4	40	3	22.86	53.62b
5	40	4	23.58	52.84b
Promedio			29.49	55.46

Valores con distinta literal son diferentes ( $P < .05$ ).

CUADRO 32

Cuadrados medios del análisis de varianza para luminosidad (L\*), rojos (a\*), y amarillos (b\*) en la piel y tarsos de los pollos del experimento 2.

Origen de la variación	Grados de libertad	P I E L			T A R S O S		
		Luminosidad L*	Rojos a*	Amarillos b*	Luminosidad L*	Rojos a*	Amarillos b*
Réplica	2	12.79	1.06	2.40	8.26	23.27	12.96
Tratamiento	4	39.94+	10.47	69.54	20.87	27.12++	143.14++
R X T	8	9.55	5.83	28.72	13.45	4.55	76.41
Error	129	13.23	5.87	37.03	9.28	5.81	36.54

+ P < .05

++ P < .01

En el Cuadro 33 están, los resultados de Luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $a^*$ ) y amarillamiento ( $b^*$ ) de la evaluación hecha con el colorímetro de reflectancia en los tarsos descongelados del Experimento 2.

Se observa que para luminosidad ( $L^*$ ), no existieron diferencias entre tratamientos ( $P < .05$ ). Para el enrojecimiento se nota que los tratamientos 4 y 5 que contenían 3 y 4 ppm de capsantina además de 40 ppm de luteína fueron superiores estadísticamente ( $P < .05$ ), siendo el mejor valor el del tratamiento 2 -- que consumió 40 ppm de luteína. El tratamiento 4 que consumió 40 ppm de luteína y 3 ppm de capsantina resultó estadísticamente igual al tratamiento 2 ( $P > .05$ ).

CUADRO 33

Valores de luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $a^*$ ) y amarillamiento ( $b^*$ ) medidos con el colorímetro de reflectancia en piel de tarsos descongelados.

Tratamientos	Nivel de Xantofilas		$L^*$	$a^*$	$b^*$
	Amarillas	Rojas			
1	60	0	75.88a	6.54b	62.67ab
2	40	0	75.56a	5.47b	66.87a
3	40	2	75.67a	5.87b	61.51ab
4	40	3	74.98a	7.82a	64.60a
5	40	4	75.03a	7.74a	62.30b
Promedio			75.43	6.70	63.57

Valores con diferente literal son significativas ( $P < .05$ ).

Los tratamientos 1, 3 y 5 fueron iguales estadísticamente pero diferentes al 2 y 4 ( $P < .05$ ). El hecho de que el tratamiento 1, que fue el que tenía una mayor suplementación de xantofilas amarillas en su dieta resultara con un valor de amarillamiento igual al tratamiento 2 que consumió una dieta con menor cantidad de xantofilas (60 vs 40 ppm) es similar a lo observado en tarsos sin congelar y a lo obtenido en el primer experimento de este trabajo de que 40 ppm de xantofilas resultaron en igual color que 60 ppm.

Es importante mencionar que los pollos entre 35 y 42 días de edad padecieron de enfermedad crónica respiratoria y fueron sometidos a un tratamiento con antibióticos, lo que pudo haber afectado los resultados de este experimento en pigmentación, ya que se sabe que las enfermedades respiratorias en el pollo de engorda provocan una despigmentación y esto pudo influir en los resultados encontrados.

En el Cuadro 34, se encuentra el análisis de varianza para Luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $b^*$ ) y amarillamiento ( $b^*$ ) de la piel del tarso derecho descongelado.

CUADRO. 34

Análisis de varianza para Luminosidad (L\*), enrojecimiento (a\*) y amarillamiento (b\*) en la piel de tarsos descongelados.

Fuente de la variación	Grados de libertad	CUADRADOS MEDIOS		
		L*	a*	b*
Tratamiento	4	4.59	31.95	130.20
Error	137	3.40	4.98	45.74
Total	141			

### Experimento 3.

Los datos promedio de las gallinas en postura, para consumo diario de alimento y conversión alimenticia se muestran en el Cuadro 35. El porcentaje de postura y peso promedio del huevo se aprecia en el Cuadro 36. Existió un menor consumo de alimento en los tratamientos que consumieron 18 g. de luteína, - - siendo estas diferencias significativas ( $P < .05$ ). Los grupos de aves que consumieron 6 y 12 gramos de xantofilas amarillas - (luteína) fueron iguales estadísticamente ( $P > .05$ ). Para los distintos niveles de capsantina no existió un efecto significativo en esta variable ( $P > .05$ ), así como tampoco existió un - - efecto para la interacción luteína X capsantina.

En lo referente a la conversión alimenticia, porcentaje de postura y peso del huevo (Cuadro 37), no se encontraron diferencias significativas ( $P > .05$ ) entre tratamientos para niveles de xantofilas amarillas, rojas o la interacción de ambas.

El hecho de haber encontrado un menor consumo de alimento en las gallinas alimentadas con el nivel más alto de luteína -- (18 ppm) es difícil de explicar, ya que en estudios realizados por diferentes investigadores (14, 15, 17, 21, 43), así como en los resultados obtenidos en pollos en el experimento 2, no se ha encontrado que las xantofilas tengan algún efecto fisiológico adverso en las variables de ganancia de peso, producción de huevo, consumo de alimento o conversión alimenticia.

CUADRO 35

Valores promedio de consumo diario de alimento por ave y conversión alimenticia durante las 5 semanas de la fase experimental.

## Consumo de alimento por ave/día en gramos

Nivel de xantofilas amarillas (luteína) ppm	Nivel de xantofilas rojas (capsantina) p p m			Promedio
	0	1.5	3.0	
6	122.10	120.00	123.10	121.80a
12	120.40	122.10	123.60	122.00a
18	133.80 -----	121.60 -----	120.60 -----	120.60b
Promedio	118.80a	121.20a	120.60a	

## Conversión Alimenticia

## Nivel de xantofilas rojas (capsantina)

	p p m			
	0	1.5	3.0	
6	2.5	2.6	2.6	2.57a
12	2.6	2.6	2.5	2.57a
18	2.5 ---	2.6 ---	2.6 ---	2.57a
Promedio	2.53a	2.6a	2.5a	

Valores con distinta literal son diferentes estadísticamente ( $P < .05$ ).

CUADRO 36

Valores promedio de porcentaje de postura y peso del huevo durante la fase experimental.\*

Nivel de xantofilas amarillas (lutefina)	Nivel de xantofilas rojas (capsantina)			Promedio
	p p m			
ppm	0	1.5	3.0	
6	75.50	70.30	72.10	72.60
12	70.90	70.40	75.60	72.30
18	70.00	74.10	69.90	71.30
Promedio	72.13	72.60	72.53	

Peso del huevo en g

6	64.50	65.30	64.80	64.90
12	64.00	65.70	64.60	64.70
18	64.20	64.60	63.30	63.20
Promedio	64.20	64.60	63.30	

\* Los valores fueron estadísticamente iguales ( $P > .05$ ).

En el Cuadro 37 se encuentran los análisis de varianza, -- consumo diario de alimento por ave, conversión alimenticia, por-- centaje de postura y peso del huevo.

CUADRO 37

Análisis de varianza para consumo de alimento, conversión ali-- menticia, porcentaje de postura y peso del huevo en el experi-- mento 3. .

C U A D R A D O S M E D I O S

Fuente de la variación	Grados de libertad	Consumo de alimento	Conversión alimenticia	Porcentaje de postura	Peso del huevo
Tratamientos	8	35.81	0.01	16.76	3.92
Error	18	13.21	0.01	15.24	1.44
Totales	26				

En el Cuadro 38, se presentan los valores promedios de las lecturas de 4 semanas de la luminosidad ( $L^*$ ), de las yemas de - huevo evaluadas con el colorímetro de reflectancia. Existieron diferencias estadísticas ( $P < .05$ ) entre los tratamientos que re-- cibieron 6, 12 y 18 ppm de luteína, siendo mayor el valor con - 6 ppm, pero no se encontraron diferencias entre los tratamien-- tos que consumieron 12 y 18 ppm de luteína por tonelada de ali--

mento ( $P > .05$ ).

Para el efecto producido por la adición de capsantina también se encontraron diferencias estadísticas ( $P < .05$ ), siendo superior aquel que contiene una mayor dosis de capsantina. Esto se debe a que un color más saturado refleja menos luz, es decir es menos blanco. Se observó un efecto cuadrático en la adición de capsantina siendo mejor aquel con mayor contenido de capsantina.

CUADRO 38

Valores promedio de luminosidad ( $L^*$ ) evaluados con el colorímetro de reflectancia en las yemas de los huevos del experimento. 3.

Nivel de xantofilas amarillas (luteína)	Nivel de xantofilas rojas (capsantina)			Promedio
	p p m			
ppm	0	1.5	3.0	
6	62.87	60.10	58.44	60.47a
12	62.25	59.14	57.10	59.63b
18	62.11	58.78	57.75	59.55b
Promedio	62.41a	59.47b	57.76c	

Valores con diferente literal dentro de efectos son significativos ( $P < .05$ ).

Se puede observar en el Cuadro 39, los valores promedio de 4 semanas de lectura de enrojecimiento ( $a^*$ ) en las yemas del -- huevo evaluadas con el colorímetro de reflectancia. Se nota -- que existieron diferencias estadísticas significativas ( $P < .05$ ) para los tratamientos que fueron adicionados con capsantina, in crementándose de manera cuadrática ( $P < .01$ ) el color rojo de la yema del huevo.

El efecto a niveles de luteína, fue también significativo al color rojo siendo menor el color a las dosis bajas de luteína. Este efecto se puede explicar debido a la interacción de xantofilas amarillas y rojas ( $P < .05$ ).

Para las dosis de luteína se aprecia que existieron diferencias significativas ( $P < .05$ ) entre los tratamientos que no se adicionaron con capsantina en la dieta. Para los tratamientos que se adicionaron con 1.5 ppm de capsantina existieron diferencias entre los tratamientos con 6 y 12 ppm de luteína. Sin embargo no hubo diferencias ( $P > .05$ ) entre los tratamientos con 12 y 18 ppm de luteína y 1.5 de capsantina.

CUADRO 39

Valores promedio de enrojecimiento (a\*) evaluados con el colorímetro de reflectancia en las yemas de los huevos del experimento 3.

Nivel de xantofilas amarillas (luteína)	Nivel de xantofilas rojas (capsantina)			Promedio
	p p m			
ppm	0	1.5	3.0	
6	-6.24a	0.14d	4.73f	-0.45a
12	-5.47b	1.37e	5.21f	0.37b
18	-4.44c -----	1.37e -----	4.69f -----	0.53b
Promedio	-5.39a	0.96b	4.87c	

Valores con distinta literal dentro de efectos son significativos ( $P < .05$ ).

Entre los tratamientos que contenían luteína, con 3 ppm de capsantina no existieron diferencias estadísticas ( $P > .05$ ).

Es importante remarcar de los datos obtenidos, que el efecto causado por unidad de capsantina es mucho mayor que el efecto causado por unidad de luteína.

Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Fletcher en 1981 y 1983 (14, 15), aunque en el presente trabajo se usa--

ron dosis muy por abajo de las dosis usadas en los trabajos mencionados.

Los resultados promedio para amarillamiento ( $b^*$ ) en yemas de huevos evaluados con el colorímetro de reflectancia, están en el Cuadro 40. En esta variable existieron diferencias estadísticas ( $P < .05$ ). Para el efecto de luteína-capsantina, así como para la interacción de ambas xantofilas, se ve que a medida que aumenta el nivel de suplementación de luteína, mayor fue su valor de amarillamiento. Por otro lado se aprecia también que al aumentar la capsantina en la dieta, disminuyó este valor, -- siendo con 1.5 y 3.0 ppm estadísticamente iguales ( $P > .05$ ). La interacción de xantofilas amarillas por rojas encontradas se -- puede deber a que el color amarillo cambia a naranja y el aparato los lee como rojos, por lo que resulta lógico que esta variable disminuya ante el efecto creciente de la capsantina. Esta misma explicación debe ser aplicada para los efectos de capsantina obtenidos.

Esta información obtenida de que pequeñas cantidades de -- capsantina incrementan el color rojo de las yemas de los huevos concuerda con los trabajos de Fletcher de 1981 y 1983 (14, 15). Sin embargo, en el presente trabajo se utilizaron dosis mucho -- más bajas de luteína y capsantina que las empleadas en los reportes mencionados a partir de concentrados de cempasúchil y paprika.

CUADRO 40

Promedio para amarillamiento ( $b^*$ ) en yemas de huevo del experimento 3 evaluadas con el colorímetro de reflectancia.

Nivel de xantofilas amarillas luteína	Nivel de xantofilas rojas (capsantina)			Promedio
	p p m			
ppm	0	1.5	3.0	
6	40.56a	39.87a	40.42a	40.28a
12	44.91c	44.55bc	43.03b	44.17b
18	48.33c	45.07c	43.44c	45.61c
Promedio	44.60a	43.17b	42.29b	

Valores con diferente literal dentro de efectos son significativos ( $P < .05$ ).

En el Cuadro 41 se encuentran los valores calculados del -- cromatismo  $\sqrt{a^2 + b^2}$  para las yemas del huevo. Como en este caso -- el valor que más influye para esta variable es el amarillamiento ( $b^*$ ) se encontró una situación muy similar que lo sucedió en  $b^*$ , siendo significativas las diferencias ( $P < .05$ ) y los efectos a la manera ya señalada para el amarillamiento.

CUADRO 41

Resultados promedio de croma de yemas de huevos del experimento 3 evaluados con el colorímetro de reflectancia.

Nivel de xantofilas amarillas luteína ppm	Nivel de xantofilas rojas (capsantina) p p m			Promedio
	0	1.5	3.0	
6	41.09a	39.93a	40.78a	40.60a
12	45.31 cd	44.65bc	43.43b	44.56b
18	48.58d	45.18cd	43.30bc	45.85c
Promedio	44.99a	43.25b	42.67b	

Valores con diferente literal dentro de efectos, son estadísticamente significativos ( $P < .05$ ).

En el Cuadro 42, aparecen los valores promedio de las lecturas visuales de 4 semanas encontradas con el abanico colorimétrico de Roche de 1984 en las yemas de los huevos. Se puede apreciar que el color de la yema del huevo, aumentó ( $P < .05$ ), a medida que se incrementó el nivel de luteína en la dieta, siendo este efecto de tipo lineal ( $P < .05$ ).

Por otra parte también se observa que la coloración de la yema del huevo aumentó al incrementar el contenido de capsantina en la dieta, siendo el incremento muy notable de 6.33 hasta 10.49 en la escala del abanico colorimétrico, cuando se adicio-

naron 1.5 ppm de capsantina. Con la suplementación de 3 ppm de capsantina el valor aumentó en menor proporción 10.49 vs. 12.49 encontrándose que un modelo cuadrático describía mejor las respuestas de suplementación de xantofilas rojas.

Se puede notar claramente que para incrementar la coloración de una tonalidad amarilla a una amarilla naranja el único camino es combinar xantofilas amarillas y rojas; siendo necesario únicamente pequeñas cantidades de cada una de ellas. También se observa, que el valor visual con el abanico de Roche aumenta muy poco al adicionar xantofilas amarillas, no obstante que el incremento de estas es notable (100 y 200% respectivamente).

#### CUADRO 42

Valores obtenidos con el abanico colorimétrico de Roche de 1984 en las yemas de los huevos del experimento 3.

Nivel de xantofilas amarillas luteína	Nivel de xantofilas rojas (capsantina)			Promedio
	p p m			
ppm	0	1.5	3.0	
6	5.42a	10.06d	12.67h	9.38a
12	6.31b	10.56e	12.52g	9.80b
18	7.25c	10.98f	12.28g	10.17c
Promedio	6.33a	10.49b	12.49c	

Valores con diferente literal dentro de efectos son estadísticamente iguales ( $P < .05$ ).

En el Cuadro 43, se encuentra el análisis de varianza de los datos de luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $a^*$ ), amarillamiento ( $b^*$ ), croma (C) y del abanico colorimétrico de Roche de 1984 (R).

Con objeto de poder interpretar la información obtenida se hicieron análisis de superficie de respuesta, los cuales indican lo siguiente: La superficie de respuesta para rojos ( $a^*$ ) y abanico colorimétrico de Roche (R) de 1984 puede ser explicada a través de la ecuación del Cuadro 44, la cual presenta un efecto lineal a la adición de luteína y un efecto lineal y cuadrático a la adición de capsantina. Además la interacción entre estos efectos mostrando un coeficiente de determinación de 0.3947 y 0.3953 respectivamente.

Finalmente la luminosidad ( $L^*$ ) puede ser explicada por el efecto lineal de luteína y lineal y cuadrático de capsantina -- con un coeficiente de 0.5127.

CUADRO 43

Análisis de varianza de luminosidad (L\*), enrojecimiento(a\*), amarillamiento (b\*), --  
croma (C) y del abanico colorimétrico de Roche de 1984 (R) del experimento 3.

Fuente de la variación	Grados de libertad	L*	Cuadrados medios				R*
			a*	b*	C*		
Factor 1	2	18.76++	20.45++	546.99++	533.19++	11.29++	
lineal	1	30.62++	35.60+	1022.93++	922.53++	22.56++	
cuadrático	1	6.9	5.29	71.05	73.86++	0.02	
Factor 2	2	397.91++	1131.31++	97.22+	104.86++	714.37++	
lineal	1	310.05++	1450.97++	73.82++	108.38++	637.56++	
cuadrático	1	485.78++	2911.64++	120.05++	101.33++	792.19++	
Semanas	3	34.23++	321.09+	22.34	20.18	7.01++	
lineal	1	13.38+	736.23+	---	---	1.17++	
cuadrático	1	45.56++	221.84+	---	---	19.67++	
descuadrado	1	43.76++	5.19	---	---	0.002	
F1 X F2	4	3.19	6.57+	39.39++	35.25++	7.39++	
L X L	1	---	2.01	39.53	30.14	5.04++	
C X L	1	---	4.37	20.91	21.03	0.03	
L X C	1	---	19.16+	96.37+	89.61++	24.50++	
C X C	1	---	0.73	0.35	0.22	0.01	
F1 X S	6	1.92	2.12	0.36	10.89	0.93+	
F2 X S	6	2.49	3.18	0.55	3.69	1.79++	
F1 X F2 X S	12	3.53	1.22	0.50	9.62	1.16++	
Error	180	3.30	1.65	10.33	10.26	0.33	
R <sup>2</sup>		0.6313	0.9434	0.4849	0.4759	0.9627	
+ P < .05							
++ P < .01							

## CUADRO 44

Ecuaciones de predicción para luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $a^*$ ), amarillamiento ( $b^*$ ), croma (C) y abanico colorimétrico de Roche (R).

---


$$L^* = 63.33 - 0.08T_1 + 2.36T_2 + 0.27T_2^2$$

$$a^* = -7.87 + 0.15T_1 + 5.20T_2 - 0.39T_2^2 - 0.01T_1T_2 - 0.01T_1T_2^2$$

$$b^* = 32.77 + 1.46T_1 + 0.69T_2 - 0.03T_1^2 + 0.04T_2^2 - 0.15T_1T_2 + 0.01T_1T_2^2$$

$$C = 33.37 + 1.46T_1 - 0.04T_2 - 0.03T_1^2 + 0.25T_2^2 - 0.12T_1T_2 + 0.0001T_1T_2^2$$

$$R = 4.49 + 0.15T_1 + 4.04T_2 - 0.42T_2^2 - 0.04T_1T_2 - 0.01T_1T_2^2$$

$$L^* (R^2 = 0.5127), a^* (R^2 = 0.7486), b^* (R^2 = 0.3947)$$

$$C (R^2 = 0.3953) \text{ y } R (R^2 = 0.9304).$$


---

En el Cuadro 45, aparecen las correlaciones entre las distintas variables de pigmentación evaluadas en este experimento con el colorímetro de reflectancia y el abanico colorimétrico de Roche de 1984.

Entre  $a^*$  y  $b^*$  existe muy poca relación (-0.122) y entre el  $a^*$  y  $L^*$  existe una relación negativa (-0.760) la cual consideramos normal ya que un color más saturado refleja menos luz.

Entre la luminosidad ( $L^*$ ) y amarillamiento ( $b^*$ ) también -- existe una pequeña relación.

Entre la luminosidad ( $L^*$ ) y el abanico colorimétrico de Roche (R), existe igualmente una correlación negativa muy similar a la de enrojecimiento ( $a^*$ ) y luminosidad ( $L^*$ ), la cual es altamente significativa.

Para el enrojecimiento ( $a^*$ ) y el abanico colorimétrico de Roche (R) existe una alta correlación positiva que es significativa, lo que nos podría indicar que el abanico colorimétrico de Roche (R) fue diseñado en función de los pigmentos rojos (capsantina) al ser adicionados a dietas con carotenoides sintéticos amarillos.

#### CUADRO 45

Coefficientes de correlación entre la luminosidad ( $L^*$ ), enrojecimiento ( $a^*$ ), amarillamiento ( $b^*$ ), croma (C) y abanico de Roche (R) de 1984 del experimento 3.

	$L^*$	R	C	$b^*$
$a^*$	-0.760 ++	0.898 +	-0.117	-0.122
$b^*$	0.168 +	-0.138 +	-0.997 ++	
C	0.162 +	0.146		
R	-0.752 ++			

+ Valores altamente significativos ( $P < .01$ )

++ Valores significativos ( $P < .05$ )

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y bajo las condiciones empleadas, se puede deducir que la pigmentación de pollos de engorda alimentados con dietas sorgo + soya durante la etapa de finalización en el Experimento 1, se mejoró con la adición de luteína en la dieta. Se encontró una pigmentación aceptable en los tarsos y piel de pollos de engorda a partir de 40 ppm de luteína. Los valores de amarillamiento ( $b^*$ ) medidos con el colorímetro - de reflectancia Minolta CR 100 a los 56 días de edad no mostraron diferencias en el color de la piel (31.1 vs. 33.6) y de los tarsos (59.8 vs. 57.7) de las aves alimentadas con 40 ó 60 ppm de luteína.

Sin embargo, la información obtenida indicó que existía un efecto cuadrático a dosis de luteína empleada. A través de las ecuaciones de regresión obtenidas, se obtuvo que con 66.7 y - - 63.93 ppm de luteína en el alimento se lograba los valores máximos de amarillamiento en piel y tarsos respectivamente. Es importante mencionar también que el abanico colorimétrico de Roche no fue un buen auxiliar en los pollos para evaluar la pigmentación.

En la información obtenida en el Experimento 2, se pudo --

constatar una vez más, que no existe diferencia en el color amarillo (b\*) de los pollos de engorda para los tarsos (56.5 vs. 58.2) y la piel (25.5 vs. 26.7) cuando se alimentaron con 40 ó 60 ppm de luteína en la dieta durante 28 días en la fase de engorda.

Por otro lado, también se encontró que la adición de 3 ppm de capsantina a una dieta con 40 ppm de luteína incrementó el color rojo en los tarsos (1.1 vs. 3.3) indicando que, en los pollos de engorda, la capsantina se deposita únicamente en los tarsos.

Los resultados obtenidos en gallinas en producción, Experimento 3, mostraron que la combinación de cantidades bajas de luteína (6 ppm) y de capsantina (1.5 ppm) producen una tonalidad anaranjada en la yema del huevo aceptada por el mercado.

La evaluación del color de la yema del huevo a través del colorímetro de reflectancia, únicamente tuvo una correlación positiva con el abanico colorimétrico de Roche para enrojecimiento; quizá diseñado en función de la pigmentación roja obtenida por cantaxantina al ser adicionada a dietas con carotenoides sintéticos amarillos (Beta apo 8' caroteno).

Finalmente se puede decir, que el colorímetro de reflectancia Minolta CR 100 es un instrumento preciso para medir tanto -

la coloración de piel y tarsos en pollo de engorda, así como la coloración de la yema del huevo y que los valores obtenidos en estos estudios para amarillamiento y enrojecimiento se pueden utilizar como guías para monitorear la pigmentación en parvadas comerciales mexicanas de pollos de engorda y gallinas en postura.

## B I B L I O G R A F I A

1. A.O.A.C.: Official methods of Analysis. 12th. ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. - - (1975).
2. Anónimo: Precise color communication. Minolta Camera Co., Ltd. Osaka, Japón.
3. Anónimo: Rovimix Carophyll. Hoffman La Roche Inc. Natley, N.Y.
4. Avila, G.E. y Cuca G.M.: Efecto del alga spirulina (Spirulina *geitleri*) sobre la pigmentación de la yema de huevo. - Téc. Pec. Méx., 26: 47-48
5. Avila, G.E.: Alimentación de las aves. Ed. Trillas, S.A. - de C.V. México (1986).
6. Bauerfeind, J.C.: Carotenoids as colorants and vitamin A - precursors. Academic Press, N.Y. (1981).
7. Ezarces, S.A., Rossainz H.M. y Avila G.E.: El valor del alga Spirulina (Spirulina *geitleri*) en dieta para pollos de engorda. Téc. Pec. Méx., 32 46-52 (1977).
8. Conn, C.N., and Couch, J.R.: Effect of storage and fatty - acid esters on the utilization of xanthophyll from mari- - gold meal by laying hens. Poultry Sci., 55: 841-847 (1976)
9. Couch, J.R. and Garr, F.M.: The effect of adding canthaxanthin and Beta apo 8' carotenal to laying diets containing yellow corn and alfalfa on egg yolk pigmentation. British Poultry Sci., 12:49-55 (1971).

10. Cuca G.M.: Consumer preference and Pigmentation Cost. Proc. of World's Poultry Congress, New Orleans: 251-233 (1974).
11. Cuca G.M., Avila, G.E. y Pr6 M.A.: La alimentaci6n de las aves. Bolet6n 1, Colegio de Postgraduados, Chapingo, M6xico (1982).
12. Fletcher, D.L., Janky, D.M., Voitle, R.A. and Harns R.H.: The influence of light on broiler pigmentation. Poultry -- Sci., 56: 956-956 (1977).
13. Fletcher, D.L.: The effect of light exposure on feed in -- broiler pigmentation. Poultry Sci., 60: 68-75 (1981).
14. Fletcher, D.L. and Halloran, H.R.: An evaluation of commercially available marigold concentrate and paprika oleoresin on egg yolk pigmentation. Poultry Sci., 60: 1846-1853 (1981)
15. Fletcher, D.L. and Halloran, H.R.: Egg yolk pigmentation - properties of marigold extract and paprika oleoresin in a practical type diet. Poultry Sci., 62: 1205-1210 (1983).
16. Fletcher, D.L.: Evaluaciones de la pigmentaci6n del pollo. Memorias del VII Ciclo Internacional de Conferencias sobre Avicultura. Colegio de Postgraduados, AMENA.: 85-89, M6xico (1984).
17. Fletcher, D.L. and Halloran, H.R.: Egg yolk pigmentation properties of a marigold extract and paprika oleoresin in a practical type diet. Poultry Sci., 62: 1205-1210 (1983).
18. Fletcher D.L., Papa M.C. and Tirado F.X.: The effect of saponification on the broiler coloring capability of marigold extracts. Poultry Sci., 65: 1708-1714 (1986).

19. Fruton, S.J. and Simmons, S.: General Biochemistry. John Wiley and Sons Ind., Conneccitut (1960).
20. Fry, J.L., Hinton C.F. and Harms R.H.: Reflectance colorimetric evaluation of egg yolk pigmentation. Journal of - - Food Sci., 30: 508-510 (1974).
21. Guenther, E.: Pigmentation of egg yolk by xanthophylls - - from marigold, alfalfa and synthetic sources. Poultry Sci. 52: 1787-1798 (1973).
22. Hamilton, P.B.: Recent developments in our Knowledge of -- xanthophylls in normal and pale birds. Proc. of Maryland - Nutrition Conference, 58-62 (1986).
23. Hamilton, P.B.: El síndrome del ave pálida. Memorias del - VIII Ciclo de Conferencias Internacionales sobre Avicultura. AMENA, México (1987).
24. Harms, R.H., Fry, J.L. and Mc Pherson, B.N.: Evidence in - pigmentation among strains and crosses of broilers. Foultry Sci., 56: 86-90 (1977).
25. Heat, J.L. and Thomas, O.P.: The effect of feather removal during processing on their xanthophyll content of broiler skin. Poultry Sci., 53: 291-295 (1975).
26. Heat, J.L. and Webeck, C.J.: The effect on xanthophyll con- tent and color of broiler when scald additive concentra- - tion was measured by pH. Poultry Sci., 54: 1288-1292 (1975)
27. Hencken, H.: Influencia del pollo de carne. F. Hoffman La Roche and Cfa. Basilea, Suiza (1979).

28. Janky, D.M.: Concepts of color evaluation with emphasis on the use of the color eye. Proc. of the 1979 Florida Nutr. Conf., University of Florida (1979).
29. Janky, D.M.: The use of the Minolta reflectance chroma meter II TM for pigmentation evaluation of broiler shanks. - Poultry Sci., 65: 495-499 (1986).
30. Jones, F.T., Hagler, W.H. and Hamilton, P.B.: Association of low levels of aflatoxin in feed productivity losses in commercial broiler operations. Poultry Sci., 61: 861-868 - (1982).
31. Mc Kenzie, M.E., Colgano, G.L., Lee, S.R. and Long, P.L.: Gut stasis in chickens infected with *Eimeria* spp. Poultry Sci., 566: 264-269 (1987).
32. Marusich W.L.: Zeaxanthin as a broiler pigmenter. Poultry Sci., 55: 1486-1494 (1976).
33. Mondraçón, B.M.: Cultivo y uso del alga teciutl (*Spirulina maxima*), estudio recapitulativo. Tesis de Licenciatura, -- Facultad de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México (1984).
34. Montalvo, V.I.: Evaluación química y biológica de los pigmentos de la espirulina. Tesis de Licenciatura. Fac. de -- Química, Universidad Nacional Autónoma de México (1974).
35. N.C.R.: Nutrient requirements of poultry. National Research Council, 8th edition, Washington, D.C. (1984).
36. Ochoa, R.R., Ríos, H.M.A. y López, C.C.: Características de los pigmentos usados en raciones para aves. Memorias de la VIII Convención Nacional ANECA, GUADALAJARA, Jal. (1982)

37. Ogbuoroki, U.D.E. and Edgar, S.A.: Effect of mild infections with six species of *Eimeria* on skin pigmentation of broilers Poultry Sci., 65: 1816-1818 (1986).
38. Osborne, D.J., Huff, W.E., Hamilton, P.B. and Bermeister, R.R.: Comparison of ochratoxin, aflatoxin and T-2 toxin - for their effects on selected parameters related to infestation and evidence for specific metabolism in carotenoids - in chickens, Poultry Sci., 61: 1646-1652 (1982).
39. Philip, T., Weber, C.W. and Berry, J.W.: Utilization of lutein fatty acid esters by laying hens. Journal of Food Sci. 41: 23-25 (1976).
40. Quackenbush, F.V., Firch J.G., Rouborn, W.J., McQuistan, M, Petzold E.N. and Kargl, T.E.: Composition of corn: - - Analysis of carotenoids in corn grain. Journal Agr. Food - Chem. 9:132-135 (1961).
41. Ruff, M.D. and Britton, W.M.: Reduced yolk color layers -- with coccidiosis. Poultry Sci., 55: 1712-1716 (1976).
42. Schaeffer, J.L., Tyczkowsky, J.K. and Hamilton P.B.: Alteration in carotenoid metabolism during ochratoxicosis in - young broilers. Poultry Sci., 66: 318-324 (1987).
43. Schaeffer, J.L., Tyczkowsky, J.K. and Hamilton P.E.: Carotenoid composition of serum and egg yolks of hens fed - - diets varying in carotenoid composition. Poultry Sci. In - Press.
44. Suárez, P.A., Salmerón, S.F., Eccerril G.M.J. y Vásquez P. Carlos: Evaluación de la pigmentación por medio de reflectancia en dos líneas de pollo de engorda comercial. Memo-- rias de la XII Convención Anual ANECA, Ixtapa, Gro. (1987)

45. Scott, M.L., Nesheim, M.C. and Young R.J.: Nutrition of -- the chicken. M.L. Scott and Associates, Ithaca, New York - (1982).
46. Silerio, V.F., Mendoza de F.C. y Avila, G.E.: Evaluación - del alga spirulina (Spirulina geitleri) como fuente de -- pigmento en dieta para pollo de engorda. Téc. Pec. Méx. -- 32: 47-54 (1977).
47. Spinetti, E.M.: Manual de Bioquímica. Editorial Científico Médica. Barcelona, España (1959).
48. Steel, P.G.D. and Torrie J.H.: Principles and procedures - statistics. McGraw Hill (1960).
49. Tirado, A.F.J., Berger, M., Avila, G.E. y Rojas R.E.: Efec to pigmentante en pollos de engorda con el suministro de -- xantofilas a través del alimento y del agua de bebida. --- Proc. of the VII European Conference on Aviculture. Paris, Francia 359-363 (1986).
50. Tyczkowsky, J.K. and Hamilton P.B.: Lutein as a model - - dihydroxycarotenoid for the study of pigmentation in chi-- ckens. Poultry Sci., 65: 1141-1145 (1986).
51. Tyczkowsky, J.K. and Hamilton, P.B.: Absorption, transport and deposition in chickens of lutein diester, a carote- - noid from marigold (Tagetes erecta) petals. Poultry Sci., 65 1526-1531 (1986).
52. Vera, B.J. Casas, J., Becerril G.M.J. y Tirado, A.F.J.: -- Efecto comparativo de diferentes pigmentos disponibles en el mercado. Memorias de la XII Convención Anual ANECA, - - Ixtapa, Gro. 76-82 (1987).

53. Woodward, S.A.: The influence of light on egg yolk pigmentation. Poultry Sci., 65: 508-510 (1986).
54. Yvore, P.: Pigmentation intensity as related to non carotenoid dietary factors and diseases, Proc, of World's Poultry Congress, New Orleans (1979).