



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

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

**ENRIQUECIMIENTO DE HUEVO CON LUTEÍNA Y ZEAXANTINA
EN ESTIRPES HY-LINE W-36 E ISA-BABCOCK B-380**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS**

P R E S E N T A

CARLOS ENRIQUE DE LA CRUZ SIERRA

TUTOR: MSc. ERNESTO ÁVILA GONZÁLEZ

**COMITÉ TUTORAL:
Phd. SERGIO FERNÁNDEZ TINOCO
DR. JOSÉ ANTONIO QUINTANA LÓPEZ**

MÉXICO, D.F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

A mi Madre, la persona que nunca dejó que me diera por vencido.

A Ana, mi vida.

Al Dr. Ernesto, gracias por dejar huella y marcar mi vida profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, a Dios y a mi familia, por su apoyo anímico y espiritual.

Al UNAM – FMVZ- C.E.I.E.P.A. en especial a todo su personal académico, que han sido un sostén en mi formación académica.

Al CONACyT, al Sistema Nacional de Becas y a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP-UNAM) por el apoyo económico para realizar mis estudios y esta tesis.

Al Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán, a su Departamento de Nutrición Animal y en especial a la Dra. Silvia Carrillo.

A DSM Nutritional Products, en particular al Dr. Sergio Fernández y al Dr. Ezequiel Rosales, por el apoyo financiero, académico y anímico para la realización de esta tesis.

A maestros, compañeros y amigos del posgrado.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	
I.	INTRODUCCIÓN..... 6
II.	JUSTIFICACIÓN..... 33
III.	HIPÓTESIS..... 33
IV.	OBJETIVO GENERAL..... 34
V.	OBJETIVOS ESPECIFICOS..... 34
VI.	MATERIAL Y MÉTODOS..... 35
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 44
VIII.	CONCLUSIONES..... 78
IX.	LITERATURA CITADA..... 81
	ANEXOS..... 89
	INDICE DE CUADROS..... 98
	INDICE DE FIGURAS.....100

Enriquecimiento de Huevo con Luteína y Zeaxantina en Estirpes Hy-Line W-36 e Isa- Babcock B-380.

Alumno: Carlos Enrique de la Cruz Sierra.

Comité Tutorial: MSc Ernesto Ávila González, Dr. Sergio Fernández

Tinoco y Dr. José Antonio Quintana López.

Resumen

Las aves tienen la particularidad de reflejar en la yema del huevo los nutrientes ingeridos en la dieta -como por ejemplo los carotenoides- además de su poder pigmentante. En el hombre, los carotenoides tienen una función de antioxidantes al ser consumidos, estos, previenen enfermedades crónicas degenerativas y en especial previenen la degeneración macular de la retina en personas mayores. El presente trabajo propone la adición de diferentes niveles de Xantofilas de Flor de cempasúchil -*Tagetes erecta*- en dietas para gallinas de dos estirpes comerciales (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380) y así modificar la deposición de la luteína y zeaxantina en la yema del huevo, sin modificar los parámetros productivos y características organolépticas propias del huevo. Los niveles adicionados de xantofilas totales fueron 3.4, 26.7, 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de estas el 84.24 % de luteína y el 3.29% de zeaxantina en las dietas. Los resultados obtenidos a los 70 días de estudio observados en ambas estirpes durante la producción (porcentaje de producción, peso de huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia) no fueron diferentes estadísticamente entre los distintos niveles de xantofilas para cada estirpe ($P > 0.05$). La pigmentación de la yema de huevo con el abanico colorimétrico DSM presentó una diferencia estadística ($P < 0.05$) entre tratamientos, con un comportamiento lineal ($P < 0.05$) para ambas estirpes. Al evaluar la pigmentación con un colorímetro de reflectancia para la variable amarillos no presentó diferencia estadística ($P > 0.05$) entre los 4 últimos tratamientos observándose que es en el tratamiento 39.9 ppm en el cual se localiza la saturación de amarillos al despejar la ecuación de regresión cuadrática de ambas estirpes, sin embargo, para el enrojecimiento el comportamiento fue lineal ($P < 0.05$). Los resultados de deposición de xantofilas fueron para la estirpe Hy-Line W-36 fueron distintos estadísticamente ($P < 0.05$) desde 0.39mg hasta 3.74mg y para la estirpe Isa-Babcock-B-380 tuvo un comportamiento que fue desde

0.21mg hasta 3.74mg ($P < 0.05$). Ambas estirpes mostraron una tendencia lineal. ($P < 0.05$) La tasa de transferencia presentada por la luteína y zeaxantina es baja disminuyendo a medida que se aumentan los niveles de carotenoides en la dieta de ambas estirpes. El estudio de la aceptación de los huevos en yema dió como resultado el rechazo de las yemas con nula pigmentación en ambas estirpes. (3.4 ppm) y la predilección a simple vista de las yemas de huevos, se inclinó hacia los tratamientos 39.9, 62.3, 97.9 y 128 ppm de xantofilas totales. Al ser evaluada el color del huevo revuelto en ambas estirpes la aceptación fue positiva, al igual que el orden de preferencia fue para los tratamientos con 39.9 ppm y 62.3 ppm. Los tratamientos 39.9 ppm y 62.3 ppm para ambas estirpes fueron los mas aceptados cuando se trató del sabor de los huevos. El sabor que fue de menor predilección fueron los tratamientos con 3.4 y 26.7 ppm de xantofilas totales. ($P < 0.05$)

I. INTRODUCCIÓN

En México, la avicultura es la principal industria transformadora de proteína animal; el 60% de los productos pecuarios que consumen los mexicanos son de carne de ave y huevos. El huevo por su alto valor nutrimental, buen precio y variedad de preparación, es uno de los productos alimenticios predilectos por la población. México es el primer consumidor mundial de huevo, con 21.52 Kg *per capita* en el 2005 y es el sexto productor mundial. Dicha producción se comercializa a través de mercados tradicionales a granel en más de 70%, en tiendas de autoservicio en empaques cerrados 22% y en la industria de los alimentos el 8%¹.

En la avicultura el uso de los pigmentos para incrementar la coloración amarilla o amarillo naranja en los productos finales, juega un papel importante en el mercado, ya que aquellos con una mejor pigmentación son preferidos por el consumidor debido a que inconscientemente se asocian con un mejor sabor y calidad del producto. Existe una relación respecto a que las aves mejor pigmentadas son más sanas con respecto a las menos pigmentadas, ya que son capaces de fijar adecuadamente el pigmento, depositándolo eficazmente con relación a las parvadas que padecen algún trastorno del metabolismo. Por otro lado, el hecho de preferir productos avícolas mejor pigmentados ha dado origen a problemas de tipo económico, ya que el consumidor al preferir estos productos obliga al productor a utilizarlos aumentando el costo de producción.²

La demanda de los consumidores por la pigmentación del huevo es cada día mayor. Entre los comensales de los productos avícolas existe la creencia que el huevo pigmentado es indicador de la salud del animal. El consumidor asocia el color pobre con la mala salud del ave, y por lo tanto no lo prefiere. También se cree que cuando el ave pone huevos con yema brillante y amarilla, la gallina ha sido alimentada con un alto contenido de maíz amarillo en su dieta.

La explotación intensiva de las aves impide que estas se encuentren consumiendo vegetales al aire libre que son ricas en pigmentos, por lo que los alimentos deben complementarse con fuentes ricas en carotenoides o carotenoides sintéticos.

Las preferencias del consumidor por unos niveles de pigmentación determinados en algunos casos obedece a un capricho, ya que puede cambiar de una región a otra y puede modificarse con relativa rapidez en el tiempo. De esta forma no es de extrañar que el nivel de pigmentación de los productos avícolas respondiese, en líneas generales, a la concentración de materias pigmentantes de los granos más habituales en el país o región.^{3 4}

La población es cada vez más cuidadosa de su salud, por ello, demanda proteína de origen animal y la mejora de la calidad de éste tipo de productos. El enriquecimiento de productos avícolas, da una esperanza para consumir carne y huevo de primera calidad y con un valor agregado.

Alimentos funcionales: Huevos enriquecidos

Los alimentos funcionales, se definen como aquellos cuya estructura química y biodisponibilidad de nutrientes se ha transformado y tienen la particularidad, de que algunos de sus componentes modifican las funciones vitales del organismo de manera específica y positiva. Los efectos de los alimentos funcionales contribuyen al buen estado de salud y de su capacidad de reducir el riesgo de padecer enfermedades de quienes los consumen.^{5 6 7 8}

La industria de los alimentos esta tomando acciones para suplementar productos, enriqueciendo varios alimentos, tal es el caso de la leche, mayonesas, margarinas, aderezos, formulas infantiles, cereales y en especial carnes de pollo y huevos⁹.

Una de las formas de contribuir en el enriquecimiento de los alimentos, en específico del huevo es el adicionar luteína natural en las dietas de las aves y así, conocer la deposición de este carotenoide en la yema. Además de atender a un mercado de consumidores que utilizan el huevo para impartir color a otros productos (pastas, panadería, aderezos), que requieren una pigmentación de yema basada en el contenido real de los pigmentos, no solo del color.¹⁰

Carotenoides

Los carotenoides, se relacionan químicamente con el β -caroteno (precursor de la vitamina "A"). Se sintetizan principalmente en los tejidos vegetales y producen una gamma de colores que van del amarillo al rojo.

Los carotenoides están constituidos por moléculas de terpenos y estos a su vez, están constituidos por unidades múltiples del hidrocarburo de cinco átomos de carbono isopreno (2 metil 1,3 butadieno)

Los terpenos que contienen dos unidades de isopreno se llaman monoterpenos, los que contienen tres unidades de isopreno se denominan esquiterpenos y los que contienen cuatro, seis y ocho unidades, reciben el nombre de diterpenos, triterpenos y tetraterpenos, respectivamente.

Entre los terpenos superiores se incluyen los carotenoides (Figura 1), que son una clase de hidrocarburos tetraterpénicos y sus derivados oxigenados en los que la ordenación (cabeza con cola) de las unidades de isopreno se haya característicamente invertida en el centro de la molécula¹¹.

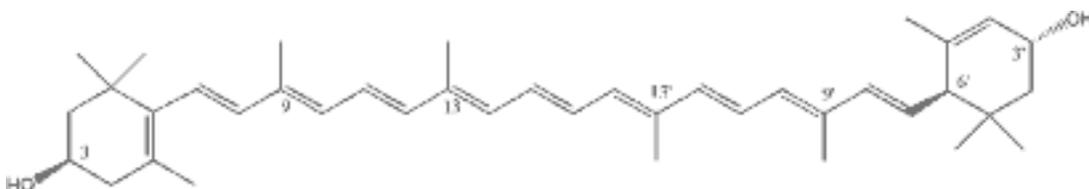


Figura 1. Carotenoide

Los carotenoides son largas moléculas poli-isoprenoides; cada extremo de la molécula contiene un anillo de ciclohexeno sustituido insaturado. Existen dos clases principales de pigmentos carotenoides en los cloroplastos, los carotenos, que son hidrocarburos isoprenoides y no contienen oxígeno, y las xantofilas, que son muy semejantes en su estructura, pero contienen oxígeno en sus anillos terminales. Solo los vegetales pueden sintetizar carotenoides; los animales carecen de esa habilidad y solamente pueden modificar un poco la estructura de los carotenoides ingeridos¹².

Los carotenoides son un gran número de compuestos liposolubles, que colorean de amarillo a rojo. Esta característica cromófora se debe a la presencia de, al menos, 9 dobles enlaces conjugados, los cuales absorben ondas de duración específicas de luz visible. Los carotenoides están primordialmente en posición trans, en forma natural, en forma extendida, por lo que son moléculas lineales y rígidas. La presencia de los dobles enlaces los hace muy sensibles a la descomposición oxidativa cuando se exponen al aire ¹².

Los carotenoides consisten de 5 a 8 unidades isoprenoides, unidas de manera normal de cabeza a cola, excepto en el centro de la molécula, donde el orden es inverso al esqueleto de C 40. Los dos grupos metilo centrales están en las posiciones 1,6; los restantes grupos metilo no terminales están en posiciones 1,5 ¹²

Los dobles enlaces conjugados de los carotenoides están altamente deslocalizados por lo que el estado excitado de estos compuestos es de baja energía, lo que permite que la energía para la transmisión este en

la región del visible (400 a 500 nm) y que los carotenoides sean compuestos intensamente coloreados (amarillo, naranja o rojo) Por lo que, esta propiedad les permite estar involucrados en los procesos de fotosíntesis y fotoprotección. ¹³

Son cristales de gran variedad de formas, que van de un color rojo a violeta, pudiendo ser incluso negros. Sus puntos de fusión son altos y tienden a incrementarse conforme se incrementa el peso molecular y los grupos funcionales. ¹³

Los carotenoides funcionan como pigmentos en un intervalo que va desde el amarillo claro hasta el rojo oscuro, pasando por los tonos verdes o azules cuando se encuentran acomplejados por proteínas. ¹⁴

El Boushy y Raterink en 1989, clasifican con base en su estructura a los carotenoides en dos grandes grupos: a) Hidrocarburos, que contienen solamente hidrógeno y carbono y son llamados carotenos, y b) hidrocarburos, los que además de contener estos constituyentes también poseen oxígeno en su estructura fueron llamadas xantofilas¹⁵

Marusich y Bauernfeind en 1971, catalogan a los carotenoides utilizados por las aves en los siguientes: a) Precursores de la vitamina "A" que no pigmentan, como por ejemplo β y β -carotenos, b) Precursores de la vitamina "A" que pigmentan como son: Criptoxantina, β -apo-8'-carotenal y β -apo-8' ácido carotenoico etil ester; c) No precursores de la vitamina "A", que no pigmentan, o pigmentan poco o pobremente como la violaxantina y neoxantina y d) No precursores de la vitamina "A" que pigmentan, como la luteína, zeaxantina y cantaxantina. ¹⁶

Otra clasificación divide en cuatro grupos los pigmentantes con nula o poca función provitamina "A", los cuales son:

- I. Hidroxicarotenoides, dentro de los cuales se encuentran la luteína y la zeaxantina que tienen particular importancia por formar parte de algunas de las materias primas utilizadas en las dietas para aves. Se caracterizan por tener grupos hidroxilos (OH)
- II. Cetacarotenoides, en este subgrupo se encuentra la cantaxantina, que es utilizada en la avicultura como base roja. Los pigmentos en este caso se caracterizan por la presencia de 1 ó 2 grupos O_2 .
- III. Compuestos intermedios, los cuales incluyen la capsantina, que también proporciona una base roja. Estos pigmentos contienen grupos OH y O_2 en su molécula.
- IV. Apocarotenales y sus ácidos, destacan en este grupo α -apo-8 carotenal, del que se obtiene la citranaxantina, base pigmentante en alimentos avícolas, así como los ésteres del ácido α -apo-8 carotenoico, que son una base amarilla. Estos pigmentantes se obtienen por ruptura de la cadena de carbono, con omisión de uno o ambos anillos de benceno.¹⁷

- *Etil-ester del ácido apocarotenoico* (Figura 3), es una molécula de origen sintético, de color amarillo naranja.

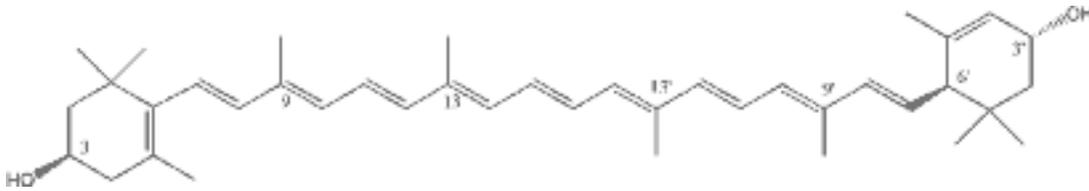


Figura 3. Molécula de Etil-ester del ácido apocarotenoico

- *Zeaxantina*. Con un color amarillo-dorado o naranja, siendo la xantofila (Figura 4), más importante del maíz amarillo, presente en la alfalfa, el gluten de maíz y en la flor de cempasúchil. ^{4 19}

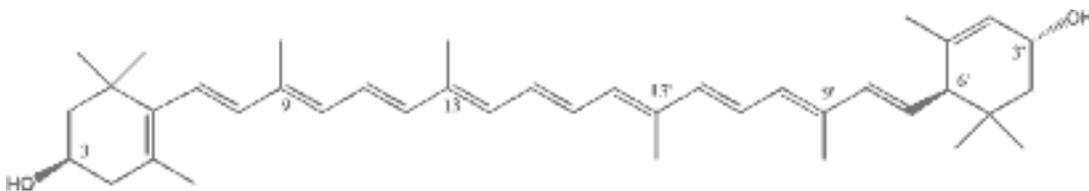


Figura 4. Molécula de Zeaxantina

Los carotenoides provenientes de la flor de cempasúchil o flor de muerto, han sido utilizados por la industria de las aves para pigmentar la yema del huevo y la piel del pollo.^{19 20 21} Los pigmentos de *Tagetes* se producen en su forma comercial al sembrar y cosechar la flor de cempasúchil, a partir de la cual por un proceso de deshidratación e hidrólisis alcalina, se obtienen los pigmentos.¹⁹ El principal carotenoide de la "flor de muerto" es la luteína (3,3´dihidroxi-__,_caroteno) encontrándose en su forma diéster el 95%, junto con la lutein-dipalmitato, miristato-palmitato y palmitato-estearato, siendo estos los principales componentes en su forma nativa.^{21, 22}

Los pétalos de la flor de cempasúchil, se trituran formando una pasta pulverizada, se separan los extractos enriquecidos de carotenoides. Los carotenoides purificados se estabilizan con el fin de prevenir la oxidación e isomerización. Estos se comercializan de forma encapsulada, ofreciendo una buena dispersión cuando se añaden a las dietas. Desafortunadamente, los carotenoides no son completamente estables, y su concentración disminuye en un año alrededor de 50% durante el almacenaje.²⁰

La luteína de la flor de cempasúchil, se presenta como diésteres de una cadena larga de ácidos grasos, a diferencia de la luteína del maíz amarillo que presenta como un alcohol libre no eterificado, que garantiza una mayor biodisponibilidad. Es un di-palmitato de luteína (molécula esterificada).

La absorción de los carotenoides dependerá de la forma en la que se presente el carotenoide, esto en función de su absorción o su desecho por las heces, estas pueden ser xantofilas esterificadas o saponificadas. La saponificación de la luteína (di-palmitato de luteína), tiene lugar en el intestino delgado gracias a las sales biliares durante la digestión o en el proceso de fabricación del pigmento añadiendo H₂O, Na OH a la luteína y así formar la luteína CH₃(CH₂) CO Na. ^{20, 23}

Absorción y metabolismo de los carotenoides en aves

En la dieta los carotenoides, pueden encontrarse en su forma libre (Figura 5), unidos a proteínas o esterificadas como monoésteres o diésteres. Estos son componentes liposolubles, por lo que siguen la ruta de la digestión lipídica. Después de haberse liberado de la matriz del alimento, los ésteres acil grasos de los carotenoides, son hidrolizados en el intestino delgado y absorbidos vía difusión pasiva a través de membranas, que tiene la característica de ser insaturable y tiene un gradiente de concentración positivo.

La absorción se lleva a cabo al incorporarse a las micelas lipídicas en su forma libre, junto con ácidos grasos libres y 2-monoacilglicerol en el lumen intestinal, teniendo como sitios de absorción al duodeno y al yeyuno. Después, los carotenoides se reesterifican (Figura 6) en las células de la mucosa intestinal, es ahí donde se encuentran los transportadores portamicrones, las lipoproteínas de alta densidad (HDL) y lipoproteínas de baja densidad (LDL), el primero es el principal transportador de carotenoides 92% y LDL 10%, ambas lipoproteínas unen a los carotenoides ligándolas a la Apolipoproteína A-1; estos transportadores los llevan vía sanguínea hacia el hígado. La liberación hacia la sangre y las células de tejidos blanco, es regulada por transportadores HDL y LDL. En la sangre, los dihidroxicarotenoides, se transportan en su forma libre junto con una porción menor de monoésteres 5-10%, en su forma diester disminuye su absorción, 90%

del total de carotenoides en la sangre son monoésteres de luteína y 10% como luteína diéster.

La relación de xantofilas libres: monoésteres: diésteres puede variar en gran medida dependiendo de factores como la estirpe, edad del ave, contenido de la grasa en el alimento y el contenido de lípidos en el hígado.^{20, 23, 24, 25}

La absorción de los carotenos dependerá del tipo de grasas en la dieta. Los ácidos grasos saturados de cadena corta (ac. laúrico 12:0), promueven la más alta absorción, debido a que favorecen la formación de micelas lipídicas teniendo un efecto estimulante en la absorción, seguida de triglicéridos y finalmente ácidos grasos insaturados de cadena larga (18:1, 18:2) En un estudio en aves, se observó que existe una relación lineal entre el contenido de lípidos en la dieta y en el contenido plasmático de luteína, 6%.²³

Los carotenoides en el alimento en sus componentes naturales, se presentan en alrededor de un 60% a un 90% en su forma trans y de un 10% a un 30% en su forma cis. La forma trans es más efectiva para la pigmentación debido a que su coloración es mas roja y gracias a su gran estabilidad. .²³

Las xantofilas en las aves tienen la característica de acumularse en casi todos los tejidos, exceptuando la retina y principalmente en la piel, grasa subcutánea, músculo, hígado, órganos reproductivos y en la yema del huevo. La presencia de anillos β en la molécula de las xantofilas, le confiere una alta polaridad, lo que determina, en parte, las características distintivas durante la absorción, transporte, metabolismo

y deposición en los tejidos.²⁴ Los esteres de luteína son químicamente diferentes con respecto a la luteína libre, por lo tanto requieren una mayor digestión enzimática en el intestino delgado.

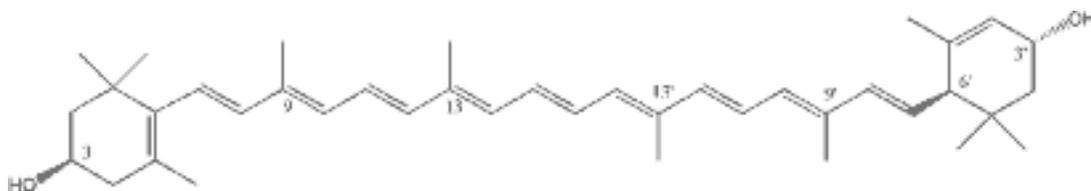


Figura 5. Molécula de luteína purificada

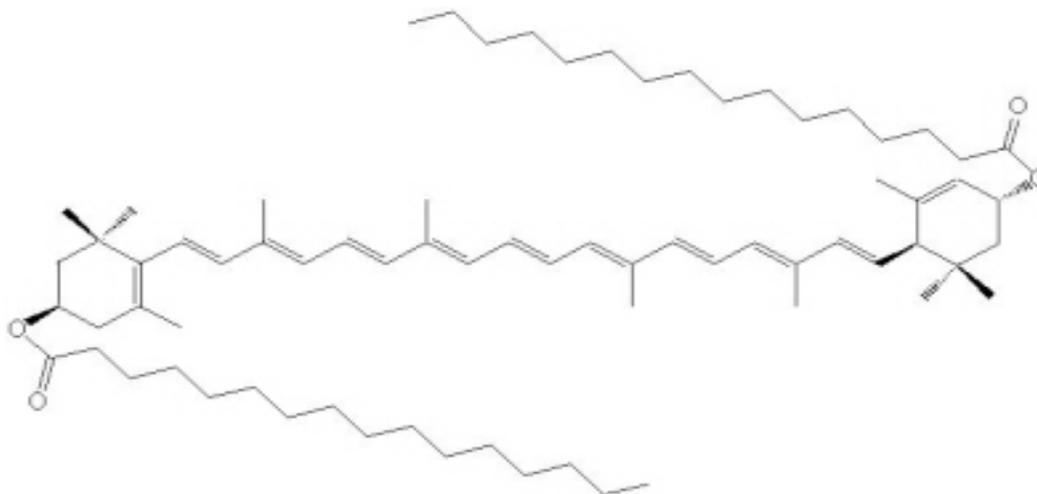


Figura 6. Molécula de ester de luteína

Biodisponibilidad de la luteína en los alimentos del hombre.

Tradicionalmente, la importancia nutricional de los carotenoides en el hombre, se ha limitado a su actividad provitamina A (capacidad de ser convertida a vitamina A, como β -caroteno, α -caroteno y β -criptoxantina), pero debido a que la luteína no presenta en su estructura anillos terminales hidroxilados carece de dicha propiedad. Sin embargo, el interés nutricional en la luteína se basa no solo en su "esencialidad", si no a su actividad biológica, la cual puede ser potencialmente relevante para la salud humana. La presencia en los alimentos que consumimos y la posibilidad de manipular su consumo, genera un importante impacto sobre la salud humana y prevención de enfermedades crónico degenerativas.²⁶

La presencia en los tejidos de los carotenoides en el hombre, se debe completamente a la ingesta de estos de fuentes vegetales; ya que no son sintetizados por los tejidos animales. La luteína está presente en una amplia variedad de frutas y vegetales, donde la luteína se sintetiza *de novo* y proporciona el color amarillo a las plantas.²⁷

Los carotenoides, se encuentran particularmente concentrados en los cromoplastos o cloroplastos de las plantas y tienen enlaces no covalentes a las proteínas o fibras disueltas en aceite o presentes en su forma cristalina, realizando una absorción óptima difícil de llevar a cabo. También, están presentes en algunos productos animales como la yema de los huevos de gallina. Esto es debido a los productos vegetales consumidos por las aves.²⁷

El huevo, normalmente contiene niveles de xantofilas totales que van desde 0.3 a 0.5mg, con tan solo la mitad de luteína²⁸. Estudios realizados por Leeson *et al.* en 2004, muestran que la deposición de la luteína y zeaxantina en la yema de huevo depende totalmente de las concentraciones en la dieta, al añadir 125 ppm lograron la deposición de 1.17 mg de luteína / 60 g de huevo,²⁹ siendo una aportación importante a las recomendaciones de consumo del hombre que va de los 10 a los 20 mg por día; el consumo actual en Norteamericanos es menor de 1mg al día.³⁰

En estudios publicados por Chung *et al.* en 2004, demuestran que la luteína del huevo, es más biodisponible que la de las espinacas y otros suplementos alimenticios de luteína. Esto a pesar que la yema del huevo, contiene considerablemente menos luteína que la presentada por las espinacas. Las espinacas albergan en sus cloroplastos la luteína, donde actúa como componente de los complejos proteína – pigmento fotosintéticos. 6.89+/- 0.08 de luteína y 0.22 +/- 0.01 mg de zeaxantina / 100 g en peso húmedo vs. el huevo contiene de 2.67 +/- 0.11 mg de luteína y 0.31 +/- 0.02 mg de zeaxantina / 100g (huevo enriquecido cinco veces más de lo encontrado en un huevo normal)³¹

La biodisponibilidad de la luteína en la yema del huevo es alta, dando niveles séricos de 110-350 nmol/L por cada miligramo de luteína ingerido, a comparación de los vegetales que presentan niveles séricos que van desde los 20 a los 40 nmol/L por cada miligramo de luteína ingerido y de los suplementos de luteína y esteres de luteína que son de

40 nmol/L y 75 nmol/L por cada miligramo de luteína ingerido por el hombre.³¹

En estudios en los que se comparan la biodisponibilidad de la luteína presente en la yema del huevo, con otras fuentes de este pigmento en el hombre, se concluye que las xantofilas dependen para su absorción de la fuente de alimento de la cual provengan, es decir, el huevo es más biodisponible, ya que la luteína se encuentra dentro de una matriz lipídica digestible, la yema se compone principalmente de triglicéridos, fosfolípidos y colesterol. Este último favorece la biodisponibilidad de la luteína, debido a que las dietas con un alto contenido de colesterol causan una alta respuesta lipídica postprandial en el plasma y varias fracciones de lipoproteínas.³¹ Lo anterior coincide con el estudio realizado por Handelman *et al.* en el que observaron un consumo diario de 1.3 huevos cocidos, suministran 380ug luteína y 280 ug de zeaxantina y la biodisponibilidad de estos carotenoides en la yema de huevo es mejor que la de los vegetales verdes y el maíz amarillo.³²

Por otra parte, para una optimización de la absorción de la luteína en humanos, los vegetales como las espinacas, compensan su menor biodisponibilidad dando protección en contra del metabolismo oxidativo de la luteína; β - caroteno, vitamina C y ácido fólico.³¹

La luteína y los beneficios al hombre: Actividades biológicas de los carotenoides.

La luteína no es considerada un nutriente esencial para el hombre, de hecho no existe condición clínica reportada en el humano asociada con la deficiencia o toxicidad de la luteína, exceptuando la hipercarotenaemia, con o sin carotenodermia (pigmentación de la piel), usualmente asociado al excesivo consumo, aunque solo se ha visto correlacionado con algunas condiciones patológicas (diabetes mellitus, anorexia nerviosa).³³

Los carotenoides son antioxidantes por excelencia, ya que atrapan las especies de oxígeno reactivas que se forman por la radiación, protegen a los lípidos de la oxidación y disminuyen los peróxidos inmunosupresivos mejorando la respuesta inmunológica; mantienen la fluidez de la membrana ayudando a mantener los receptores de la membrana que son esenciales para la función inmune; y también existe evidencia de su importancia en la liberación de las moléculas inmunomoduladoras como las prostaglandinas. Los carotenoides pueden proteger a las células del estrés oxidativo, ya que son capaces de atrapar los radicales libres que principalmente causan daño a los lípidos insaturados en la membrana celular, iniciando una reacción en cadena que resulta primero en la peroxidación del lípido y finalmente en un daño significativo sobre la funcionalidad de membranas, enzimas y ácidos nucleicos³⁴.

El consumo de alimentos ricos en este carotenoide, ha mostrado tener influencia en las concentraciones plasmáticas de una forma positiva en el humano, esto debido a que se ha observado la presencia de estos carotenoides en los diferentes tejidos del cuerpo humano; principalmente, las concentraciones más elevadas se han encontrado en el tejido ocular, específicamente en la mácula de la retina, así como en el cristalino. Lo que sugiere un papel de protección del daño fototóxico.

^{35, 36}

El pigmento macular del ojo se compone principalmente de tres carotenoides isoméricos: luteína, zeaxantina y mesozeaxantina. La luteína y la zeaxantina son completamente provenientes por la dieta y la mesozeaxantina se forma de la conversión de la luteína a la mesozeaxantina en la retina. Aunque estos pigmentos se encuentran en los tejidos del ojo, se concentran principalmente en la región lútea de la mácula de la retina incluyendo la fovea. En los cuales el cono de los fotorreceptores se encuentran en su máxima concentración. ³⁷

El pigmento macular protege a la retina en general y a la mácula en particular. Ante todo, estos son los componentes del color los cuales absorben la luz visible. La habilidad de filtrar la luz azul en la entrada del tejido de la retina, tiene un efecto decreciente de la aberración cromática asociada con bajas ondas de duración de la luz visible. ³⁸

Los niveles de concentración de la luteína, pueden variar en los individuos debido a factores genéticos y principalmente de la dieta. La premisa que la dieta influirá en las concentraciones de luteína está apoyada por diversas investigaciones; quienes han reportado

incrementos en la densidad del pigmento macular con la ingesta de alimentos o suplementos ricos de éste carotenoide.³¹

En enfermedades oculares relacionadas con la edad, donde los hidroxicarotenoides juegan un rol muy importante, existen datos que en Estados Unidos de America, Europa y Australia; el 0.2% de la población que se encuentra entre los 55 a los 64 años y el 13% de los mayores de 85 años tienen degeneración macular asociada con la edad (DMAE). Por tanto, se estima que al menos en Estados Unidos 6.3 millones de individuos, tendrán DMAE en el 2030. De igual manera la formación de cataratas, es una de las principales causas de ceguera prevenibles en el mundo, con un incremento de la prevalencia en Estados Unidos de aproximadamente el 5% a la edad de 65 años y del 50% de individuos mayores a los 75 años.²⁶

De acuerdo con datos colectados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el porcentaje de consumo diario de luteína de los Estadounidenses es de 1.7mg/día. En Europa el consumo es de aproximadamente 2.2mg/día. Estos datos están muy por de bajo del nivel de 6 mg/día a 14 mg/día, lo que está asociado con más de un 50% en la reducción del riesgo de degeneración macular asociada con la edad y 20% para cataratas. Esto es menos de la mitad de la cantidad de luteína que se debería de consumir, cuando se siguen las recomendaciones de la Guía Pirámide de Alimentos de la USDA, al menos de tres a cinco porciones de vegetales al día.³⁹

Existe evidencia que sugiere que la luteína y otros carotenoides como la zeaxantina, pueden reducir el riesgo de desarrollar las dos

enfermedades oculares más comunes en personas mayores (cataratas y degeneración macular asociada con la edad). La degeneración macular relacionada con la edad, se caracteriza por cambios patológicos en la retina, afecta a la región macular. Esto conduce a una pérdida irreversible de la visión, y no existe tratamiento disponible para la mayoría de los pacientes. También existe la posibilidad que la luteína, puede retrasar la progresión una vez que estas condiciones están presentes. Además, la luteína puede retrasar la degeneración de la visión en pacientes con retinitis pigmentosa. Los pigmentos maculares, pueden prevenir el daño oxidativo iniciado por la luz a la retina y al epitelio del pigmento retinal.²⁶

La luteína y la zeaxantina, incluso en su forma natural en plantas verdes, o suplementos de luteína pueden incrementar las cantidades del pigmento macular. Bajo estas circunstancias, más luz azul puede ser absorbida por el pigmento macular, conduciendo una disminución en la aberración cromática.^{31, 32}

Existe evidencia epidemiológica que existe una correlación entre la exposición del nutriente (luteína) y presencia o ausencia de salud; estas se han presentado principalmente entre la luteína y enfermedades cardiovasculares, diferentes tipos de cáncer, degeneración macular y cataratas. Lo anterior basado, en la hipótesis que el estrés oxidativo está involucrado con el daño tisular y el desarrollo de enfermedades crónicas, es decir, la luteína vista como un antioxidante en la dieta.²⁶

La relevancia nutricional se puede resumir así; la luteína no es un provitamina A, pero es un fotoquímico biológicamente activo en el

hombre. Las características de la luteína y zeaxantina que les permite la acumulación en el ojo del humano y la unión a proteínas con alta afinidad por estas xantofilas, apoyan el efecto benéfico de un rol relevante en la salud del hombre. No existen condiciones patológicas asociadas con la deficiencia o la toxicidad específicamente relacionadas con la luteína, esto es debido a que todavía se desconoce mucho del metabolismo de la luteína en el hombre. Por lo anterior, no existen consumos recomendados o máximos tolerables para humanos de luteína. La consistencia de los estudios de asociaciones puede ser considerada alta para las enfermedades degenerativas de los ojos, pero bajas para las cardiopatías y el cáncer. ²⁶

Evaluación del color y la pigmentación de la yema del huevo.

El análisis del pigmento y la evaluación del color son conceptos muy diferentes, aún cuando se les emplea como sinónimos. La pigmentación se puede conceptualizar como la deposición de pigmento que puede afectar la propiedad de reflejar la luz de un objeto y por lo tanto de alterar el color. El color es la propiedad de un objeto en términos de cómo la luz es reflejada por este objeto y parte es emitida por la superficie como ondas de diferentes longitudes.^{10 40} La apariencia depende no solo del color, sino también de la luminosidad, la cual es determinada por la saturación del color. Lo que depende del contenido y composición de carotenoides en las dietas de las gallinas de postura, en cómo son absorbidos y depositados en la yema del huevo.²⁴

Existen dos teorías de la pigmentación, estas se basan en la formación del efecto de color en la yema del huevo mediante la longitud de onda que percibe el ojo humano, siendo diferente para cada color. Cada color tiene una longitud de onda característica que va desde 380nm para el color violeta hasta los 780nm para rojo. Por debajo de los 380nm, se encuentran las radiaciones ultravioletas que no son percibidas por el ojo. Por arriba de los 780 nm se encuentran las radiaciones infrarojas, que tampoco pueden ver el ojo humano. La luteína y la zeaxantina tienen una longitud de onda de 440nm y 450nm respectivamente. La

primera teoría se debe a la saturación del color; esto es gracias a que la concentración de las partículas producen diferente percepción del color, una mayor saturación es percibida por el ojo como diferente longitud de onda, por ejemplo, amarillo, el ojo humano percibe un color diferente, en este caso, anaranjado. La segunda teoría, es debida a la combinación o mezcla de 2 colores, ya que produce el mismo efecto a un nivel de saturación menor.¹⁹

Los métodos de evaluación son:

Apreciación visual. La evaluación del color se puede hacer subjetivamente mediante el ojo humano, con base o no en una norma visual: El abanico de Roche®, actualmente DSM®, Purina®, tarjetas de color de Hoechst y otras. La evaluación se hace empleando una base numérica cuya interpretación se relaciona con las condiciones del mercado. En el caso del abanico de DSM la escala numérica presenta valores del 1 (amarillo) al 15 (rojo). La apariencia visual, especialmente el color es la característica más importante de los alimentos que determina ser seleccionado para consumo. Es el caso de los productos avícolas donde los consumidores (Cuadro 1) demandan la buena pigmentación de los mismos, por tanto colores brillantes e intensos dan la impresión de un alimento de alta calidad y nutritivo.^{41 42}

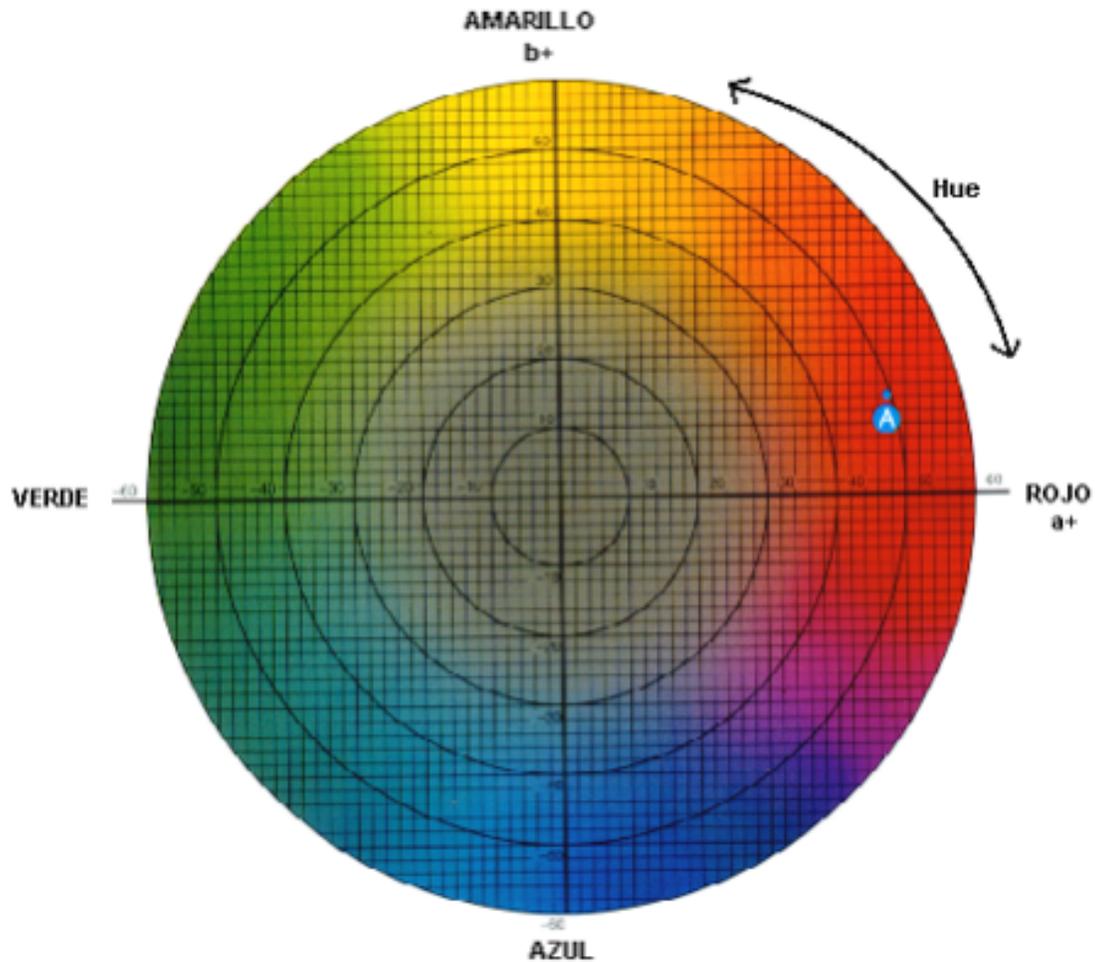
Cuadro 1. Preferencia de los consumidores en la pigmentación de la yema de huevo en algunos países. Valores del Abanico de Roche®, actualmente DSM®

PAISES	INTERVALO	VALOR DESEADO
Argentina	7-12	8
Brasil	8-15	11
Chile	10-12	11
España	11-13	13
E.U.A.	7-10	9
México	9-12	11
Perú	7-12	9
Venezuela	7-11	8
Francia	10-13	12
Australia	9-11	10
Alemania	12-15	13

Colorimetría de Reflectancia. Se basa en el empleo de espectrofotómetros de reflectancia especializada, que usan una fuente lumínica y un detector constante. Estos instrumentos iluminan el objeto con una fuente de luz conocida y determinan la reflectancia en cuanto a longitudes de onda predefinidas que se usan para expresar y calcular el color. El sistema de mayor uso es el MINOLTA CR-300® que mide la luminosidad, el enrojecimiento y el amarillamiento. El colorímetro funciona dando tres valores numéricos: (L) que corresponde a la

luminosidad, que es la presencia o no de luz, abarcando desde el negro absoluto, con un valor de cero, hasta la iluminación total, con un valor de 100. (A) y (B) que son el color o croma y se indican en dos ejes donde, a es el eje de los verdes-rojos y las lecturas abarcan un rango de -60 a +60 respectivamente y (B) es el de los azules-amarillos y las lecturas van de un rango de -60 a +60 respectivamente, ^{17 42 43 44} como se observa en la Figura 7.

Figura 7. Representación del color en las escalas a y b del colorímetro MINOLTA CR-300



Análisis químico del pigmento. Se basa en la extracción y cuantificación de los pigmentos, sea individualmente o en grupo. Se utiliza principalmente la técnica de Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC). La industria avícola y sus proveedores de carotenoides han adoptado el uso del HPLC para la compra y venta de los pigmentos y sus productos (huevo, pollo). El HPLC es una técnica de separación, identificación y cuantificación, la cual separa los lípidos solubles cuando estos pasan por cierta serie de reactivos, lo que hace que los diferentes carotenoides se extraigan varias veces en una base de polaridad. La alta presión se utiliza para aumentar la capacidad de separación y la absorción espectral. El sistema cromatográfico consta de una fase móvil, una bomba, un inyector, donde se vierten las muestras, columnas, el cual requiere estándares de alta pureza, un detector que para el caso de carotenoides requiere un detector de arreglo de diodos y un sistema de datos o cromatograma, que es donde se grafican los resultados.^{21,22,32 45}

II. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo propone la adición de niveles elevados de xantofilas de *Tagetes erecta* en dietas para gallinas de dos estirpes comerciales (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380), y así modificar la deposición de la luteína y zeaxantina en la yema del huevo, sin modificar los parámetros productivos y características organolépticas propias del huevo.

III. HIPÓTESIS

La adición de xantofilas de *Tagetes erecta* en dietas para gallinas de postura (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380), modifica la deposición de luteína y zeaxantina en la yema del huevo, sin alterar los parámetros productivos y las características organolépticas del huevo.

IV. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de Xantofilas de *Tagetes erecta*, en dietas para gallinas de dos estirpes comerciales (Hy-line W-36 e Isa-Babcock B-380) en la producción de huevo.

V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Comparar los parámetros productivos, al adicionar diferentes niveles de xantofilas de *Tagetes erecta* en dietas para gallinas de dos estirpes comerciales (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380), en producción de huevo.

- b) Determinar los valores de luteína y zeaxantina depositados en la yema del huevo, al adicionar diferentes niveles de xantofilas de *Tagetes erecta*, en dietas para gallinas de dos estirpes comerciales (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380)

- c) Evaluar la pigmentación de la yema del huevo, al adicionar diferentes niveles de xantofilas de *Tagetes erecta*, en dietas para gallinas de dos estirpes comerciales (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380), utilizando el abanico colorimétrico de DSM® y el colorímetro de reflectancia de MINOLTA CR-300®.

- d) Evaluar las características organolépticas del huevo (color de yema, color y sabor de huevo preparado), al adicionar diferentes niveles de xantofilas de *Tagetes erecta*, en dietas para gallinas de dos estirpes comerciales (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380)

xantofilas de *Tagetes erecta*, en dietas para gallinas de dos estirpes comerciales (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380)

VI. MATERIAL Y METODOS

La investigación de campo se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión Avícola (C.E.I.E.P.Av.) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual se localiza en la calle de Salvador Díaz Mirón S/N en la Colonia Santiago Zapotitlan de la Delegación Tlahuac, Distrito Federal a una altura de 2250 m.s.n.m. entre los paralelos 19°15´ latitud Oeste. Bajo condiciones de clima templado húmedo Cw, siendo Enero el mes más frío y Mayo el más caluroso, su temperatura promedio anual es de 16°C y con una precipitación pluvial anual media de 747 mm⁴⁶.

El estudio se realizó con 360 gallinas ligeras de la estirpe Hy – Line W-36 de 100 semanas de edad de segundo ciclo y con 360 gallinas semipesadas de la estirpe Isa-Babcock B-380 de 70 semanas de edad de primer ciclo, alojadas en una caseta experimental de ambiente natural y distribuidas en 6 tratamientos con 5 réplicas de 12 gallinas cada una por estirpe. El estudio duró 70 días y en ambos casos las dietas empleadas fueron a partir de una base sorgo – soya con 15% de P.C y con 2800 kcal/kg de EM como se muestra en el Cuadro 2 y su análisis calculado en el cuadro 3, modificando únicamente los niveles de xantofilas de *Tagetes erecta* en las dietas, para lo cual, se utilizó una fuente natural proveniente de la flor de cempasúchil de la marca comercial “Avigold” con una concentración de 30g/kg. Para compensar las altas cantidades de luteína en la dieta se utilizó α -celulosa, el cual es

un material inerte, con el fin de balancear las dietas como lo indican los manuales para la gallina comercial de la Hy-line W-36⁴⁷ e Isa-Babcock B-380⁴⁸. Las dietas se fabricaron semanalmente para reducir al máximo la oxidación de los oxocarotenoides, como lo indica Quackenbush, desde 1963.⁴⁹

Cuadro 2. Composición de la dieta basal para gallinas

INGREDIENTES	CANTIDAD
Sorgo 9 %	654.92
Pasta de Soya 48 %	197.66
Carbonato de Calcio	97.50
Aceite Crudo de Soya	18.68
Fosfato de Calcio	15.78
Celulosa	4.67
Sal	4.40
Vitaminas y Minerales*	3.00
DL - Metionina	1.32
Adsorbente de Micotoxinas	1.00
Cloruro de Colina 60 %	0.50
Bacitracina de Zinc	0.30
Antioxidante	0.15
L- Lisina HCl	0.13
Pigmento**	0
TOTAL	1,000.00

*Proporciona por kg de alimento premezcla de vitaminas y minerales: VITAMINA A, 11,500,000.00 UI; VITAMINA D-3, 4.500,000.00 UI; VITAMINA E, 40,000.00 UI; VITAMINA K-3, 4.00 g; TIAMINA, 1.50 g; RIBOFLAVINA, 6.00 g; PIRIDOXINA 3.00 g; VITAMINA B-12 20.00 mg; NIACINA, 45.00 g; ÁCIDO PANTOTENICO, 10.00 g; BIOTINA 120.00 mg; ÁCIDO FOLICO, 1.00 g; COLINA, 400.00 g; HIERRO, 70.00 g;

ZINC, 80.00 g; MANGANESO, 110.00 g; COBRE, 10.00 g; IODO, 1.00 g; SELENIO, 0.30 g.

**Pigmento: Xantofilas de Flor de Cempasúchil 30g/kg en cantidad variable

Cuadro 3. Análisis Calculado y determinado de Nutrientes

Proteína Cruda (%)*	14.66
E. M. (Kcal/Kg)	2800
Materia Seca (%)	91.11
Calcio Total (%)	3.90
Fósforo (disponible)	0.420
Lisina (%)*	0.69
Metionina + Cistina (%)*	0.46
Arginina (%)*	0.86
Treonina*	0.52

*Determinado en el laboratorio por Degussa

Los tratamientos fueron adicionados a la dieta basal como se indica en el **Cuadro 4** a continuación:

Cuadro 4. Xantofilas de *Tagetes erecta* en la Dieta (ppm) por tratamiento

Tratamiento Esperado	Analizado*	Luteína	Zeaxantina	Luteína + Zeaxantina
0 ppm	3.4 ppm	2.86 ppm	0.11 ppm	2.97 ppm
20 ppm	26.7 ppm	22.49 ppm	0.73 ppm	23.22 ppm
40 ppm	39.9 ppm	33.61 ppm	1.31 ppm	34.92 ppm
60 ppm	62.3 ppm	52.48 ppm	2.04 ppm	54.52 ppm
100 ppm	97.9 ppm	82.47 ppm	3.22 ppm	85.69 ppm
140 ppm	128.2 ppm	107.99 ppm	3.55 ppm	111.54 ppm

*84.24% de xantofilas totales es de luteína y 3.29% es de zeaxantina

Se emplearon los mismos tratamientos para las dos estirpes de aves.

El agua y el alimento se ofrecieron a libertad durante 10 semanas de experimentación.

Evaluación de parámetros productivos

Durante el experimento se colectó diariamente el huevo, se llevaron registros productivos semanales de porcentaje de postura, peso del huevo, conversión alimenticia, consumo por ave y masa de huevo.

Evaluación del color

Al día 70 de experimentación, se evaluó la pigmentación de los diferentes tratamientos en la yema de huevo tomando 5 muestras

aleatoriamente por réplica (25 por tratamiento, 3.4, 26.7, 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de xantofilas de flor de cempasúchil), esto se realizó utilizando las técnicas de apreciación visual y de colorimetría de reflectancia mediante el abanico colorimétrico de DSM® utilizando el equipo QCD (+QCH) SUPER SYSTEM® y el colorímetro MINOLTA CR-300® respectivamente. Las lecturas se realizaron sobre un fondo metálico y con luz natural.

Análisis de xantofilas totales.

Al término del estudio, se tomaron aleatoriamente 5 huevos por réplica para el análisis de deposición de xantofilas totales (luteína y zeaxantina) en el huevo. Para el análisis de deposición de pigmentos carotenoides en huevo se tomó una muestra de aproximadamente 100 g de los 5 huevos batidos por réplica en un recipiente para someterlos a congelación a -20° C para ser liofilizados y su posterior análisis utilizando la técnica de Cromatografía de líquidos a alta resolución (HPLC). Mediante el método método espectrofotométrico para carotenos y xantofilas en plantas, materias secas y alimentos balanceados.^{50 51}

Análisis estadístico

Los resultados promedio obtenidos de las variables fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el programa SAS⁵² y JMP 5⁵³. El análisis estadístico de los resultados de los tratamientos (3.4, 26.7, 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de xantofilas de flor de

campasúchil) se realizó el análisis conforme un diseño completamente aleatorizado para cada estirpe (Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380).

Se empleó un diseño completamente aleatorizado de acuerdo al siguiente modelo:

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

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta en la j - ésima repetición del i - ésimo tratamiento

μ = Media general

T_i = Efecto del i - ésimo tratamiento

E_{ij} = Error aleatorio en la j - ésima repetición del i - ésimo tratamiento

A las variables obtenidas de resultados de producción, pigmentación, deposición de luteína y zeaxantina; se les verificó los supuestos de homogeneidad de varianza y de normalidad antes de realizarles el Análisis de Varianza para verificar los efectos de los tratamientos, así como una comparación de medias entre tratamientos empleando la prueba de Tukey.⁵⁴

Con el objeto de predecir y explicar en un contexto más preciso las variables de respuesta, al cumplirse el supuesto de linealidad de las variables de respuesta, se les realizó un análisis utilizando el modelo de regresión lineal simple.

Se empleó un diseño de regresión lineal de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + E_i$$

Donde:

Y_i = Variable de respuesta en la i-ésima observación.

β₀ = Intercepto, media de la distribución de Y cuando X=0.

β₁ = Pendiente, cambio en la media de la distribución de Y por unidad de cambio.

X_i = Valor de la variable aleatoria en la i-ésima observación.

E_i = Error aleatorio en la i-ésima observación.

Evaluación sensorial del huevo

La evaluación sensorial se ocupa de la medición y cuantificación de las características sensoriales (ej. color y sabor) y la aceptabilidad de un producto, ingrediente o modelo, los cuales son percibidos por los sentidos.^{55,56} La prueba se realizó en cubículos individuales con luz blanca (donde los participantes pueden tomarse el tiempo necesario) en el Laboratorio de Evaluación Sensorial del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos del INNSZ. Se emplearon pruebas afectivas de aceptación y de preferencia donde las características a evaluar fueron

color de yema y color y sabor del huevo preparado (en forma de tortilla) en la que los consumidores (jueces o panelistas) evaluaron su aceptación o rechazo y ordenaron los códigos de primero a sexto lugar, acorde con su predilección de las características antes mencionadas. Se llevó a cabo en dos etapas o días, dividiendo el huevo de la estirpe de Hy-Line W-36 el primer día y el de Isa-Babcock B-380 para el segundo día.

En la prueba participaron 35 personas no entrenadas (ambos sexos), que consuman en forma regular huevo. Se les pidió que media hora antes de participar se abstuvieran de fumar y consumir alimentos, café o dulces para evitar que se afecte la apreciación y detección del sabor. A los panelistas se les presentó un cuestionario (Anexos 1 y 4 respectivamente por día) y una charola con 6 yemas, una por tratamiento (3.4, 26.7, 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de xantofilas de flor de cempasúchil) en envases transparentes etiquetados con códigos, donde se evaluaron el color de cada yema de acuerdo con su aceptación y preferencia.

La segunda prueba (Anexos 2 y 5 respectivamente por día), consistió en presentarles en un plato con 6 diferentes muestras de huevo preparado etiquetados con códigos, uno por tratamiento (3.4, 26.7, 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de Xantofilas de flor de cempasúchil), donde se evaluaron el color de cada muestra conforme su aceptación y preferencia.

El tercer cuestionario (Anexos 3 y 6 respectivamente por día), consistió en degustar las muestras de huevo preparado etiquetados con códigos,

uno por tratamiento (3.4, 26.7, 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de xantofilas de flor de cempasúchil), tomando un poco de pan blanco y agua entre cada saboreo acorde con su aceptación y preferencia.

Nota: Los números aleatorios o códigos asignados a las opciones en los cuestionarios variaron entre cada prueba de color de yema y la de degustación y color de huevo preparado, para evitar la asociación y entre huevo blanco y huevo rojo (Anexos 1 al 6)

Los resultados obtenidos se analizaron con una prueba no paramétrica de Friedman ⁵⁵ a un nivel de significancia del 5%.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables productivas de gallinas Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380 obtenidas durante el estudio, se muestran en los Cuadros 5 y 6. Los datos obtenidos de gallinas Hy-Line W-36 (Cuadro 5), no indicaron diferencias estadística ($P>0.05$) entre los tratamientos al emplear los diferentes niveles de Xantofilas de *Tagetes erecta*; resultados similares se observaron con los mismos tratamientos en las gallinas Isa-Babcock B-380 (Cuadro 6).

Demostrando que los niveles de xantofilas en la dieta de las aves no influyen de manera alguna en la producción, peso del huevo y consumo de alimento. Lo que confirma lo realizado por otros investigadores como Leeson *et al.*¹⁸ que al alimentar aves con altos niveles de xantofilas con la finalidad de enriquecer el contenido de luteína y zeaxantina de la yema de huevo, no presentó efecto sobre la producción de huevo, peso de huevo, consumo de alimento o calidad del cascarón ($P>0.05$), atribuyéndolo al hecho de que las xantofilas no son nutrientes que aporten energía, ni proteína a la dieta de las aves, lo que sí podría modificar dichos parámetros. Las dietas en este estudio para todos los tratamientos fueron las mismas y la única variación fue el nivel de xantofilas. Con base en los resultados encontrados por García *et al.* en el 2002, la inclusión de cantaxantina en la dieta no influenció los parámetros productivos y las calidades de los huevos, excepto la coloración de la yemas.⁵⁷

Al observarse los datos numéricos obtenidos por las dos estirpes se aprecian mejores parámetros productivos en la estirpe Hy-line W-36 a comparación con las aves Isa-Babcock B-380, esto debido a que dichas aves (Hy-line W-36), a pesar que eran gallinas con mayor edad y por consiguiente mayor número de semanas en producción, eran aves pelechadas, a diferencia de las gallinas Isa-Babcock B-380 que no habían tenido un descanso fisiológico de su aparato reproductivo, lo que se reflejo en la producción, ya que sus parámetros productivos fueron más bajos, en general que la estirpe ligera, por lo tanto como lo indica Quintana aves pelechadas tienen un efecto positivo en la producción.⁵⁸

Cuadro 5. Parámetros de Producción en 70 días de experimentación de gallinas Hy-Line W-36

Tratamientos	Postura (%)	Peso de Huevo (g)	Masa de Huevo (g/a/d)	Consumo de Alimento (g)	Índice de Conversión
3.4 ppm	78.0	66.2	53.2	110.6	2.07
26.7 ppm	77.2	67.9	52.4	108.2	2.06
39.9 ppm	78.1	67.9	53.0	109.2	2.05
62.3ppm	78.7	67.8	53.4	108.0	2.02
97.9 ppm	78.1	68.2	53.3	110.0	2.06
128.2 ppm	76.5	67.9	52.0	108.2	2.08

- No se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P>0.05$)

Cuadro 6. Parámetros de Producción en 70 días de experimentación de gallinas Isa-Babcock B-380

Tratamientos	Postura (%)	Peso de Huevo (g)	Masa de Huevo (g/a/d)	Consumo de Alimento (g)	Índice de Conversión
3.4 ppm	76.3	66.6	50.8	119.6	2.35
26.7 ppm	78.1	67.1	52.1	120.8	2.32
39.9 ppm	74.3	67.1	49.8	117.7	2.36
62.3ppm	78.1	66.6	51,9	120.4	2.31
97.9 ppm	77.6	67.2	52.1	119.4	2.29
128.2 ppm	76.8	66.8	51.2	118.1	2.30

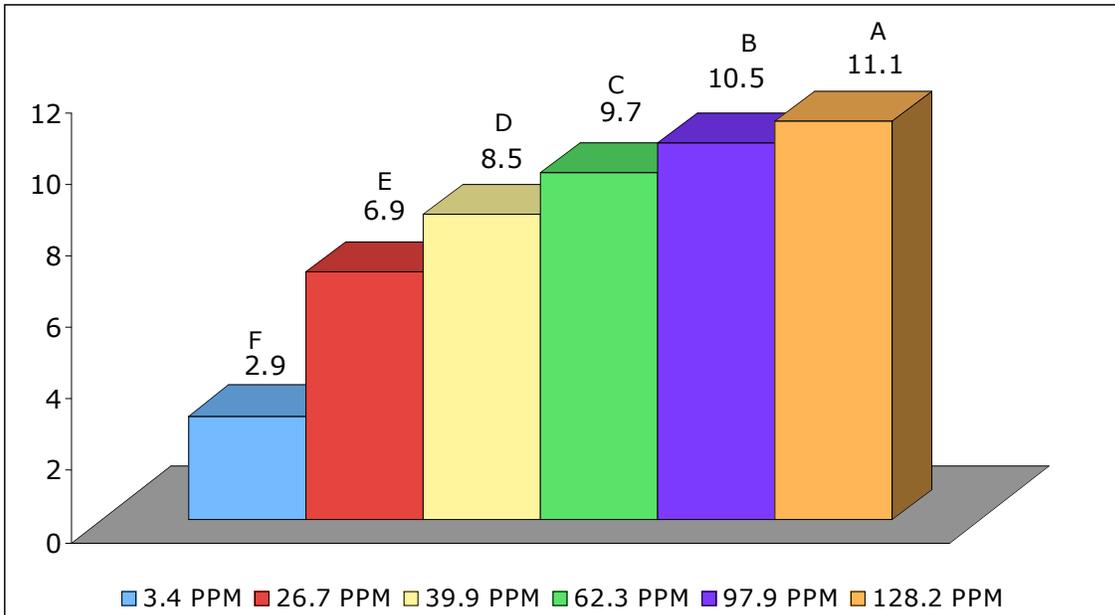
- No se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P>0.05$)

Respecto a la evaluación del color utilizando el abanico de DSM® a los 70 días de experimentación, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos para ambas estirpes de gallinas; Hy-line W-36 (Figura 8) e Isa-Babcock B-380, (Figura 9) teniendo valores que van desde los 2.9 y 3 puntos hasta los 11.1 y los 11.4 puntos del abanico respectivamente para cada estirpe.

El comportamiento del color fue lineal ($P < 0.05$) a medida que se incremento el contenido de xantofilas y en la regresión lineal se encontró, una R^2 de .75 con la ecuación $Y = 5.17 + 0.05 X$ para la estirpe Hy-line W-36 y para la estirpe semi pesada fue una R^2 de .74 y la ecuación $Y = 5.46 + 0.05 X$.

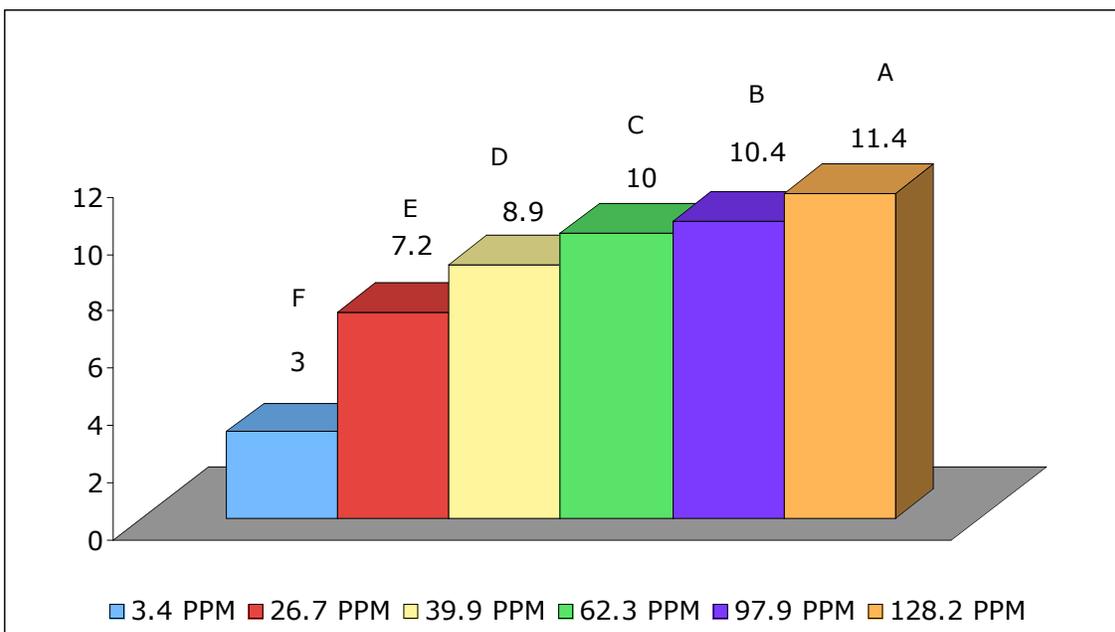
Las xantofilas en dietas de aves de postura son responsables del color de la yema del huevo, tal y como se demostró desde el inicio de la avicultura, es decir, desde que se estudió el valor pigmentante de los ingredientes utilizados en la alimentación de las aves y estudios utilizando herramientas científicas indican que el utilizar fuentes de xantofilas como el maíz amarillo, la alfalfa o la misma flor de cempasúchil pigmentan la yema del huevo. Los primeros en buscar una pigmentación en las aves fueron en 1953 la empresa Lipman, Inc., pigmentando pollos e incrementando sus ventas debido a la preferencia del consumidor.⁵⁹

Figura 8. Color de la yema del huevo de gallinas Hy-line con el Abanico DSM



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

Figura 9. Color de la yema de huevo de gallinas Isa-Babcock B-380 con el abanico DSM



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

Krsmanovich en 1980, trabajando con pigmentación, verificó que la citraxantina (carotenoide sintético), pigmentó la yema del huevo de forma más intensa cuando se comparó con el grupo control de pigmentos naturales.⁶⁰

Angeles y Sheideler en 1998, comparando dietas con gluten de maíz y harina de alfalfa a dos niveles de xantofilas y dos fuentes sintéticas (carophyll amarillo y carophyll rojo), apenas se observaron diferencias significativas en el color de las yemas del huevo sin afectar el desempeño productivo por los tratamientos.⁶¹

Halaj et al. en 1999, utilizando pigmento sintético carophyll amarillo, observó una pigmentación linear en las yemas de los huevos entre los siete y diez días de la adición de carophiles en dietas de gallinas.⁶²

Otros estudios sugieren que la combinación dos fuentes distintas de color (amarillo y rojo), se pueden alcanzar tonalidades semejantes o iguales a las obtenidas al utilizar una sola fuente de color amarilla, utilizando de 30 a 35 mg/kg de luteína en la dieta logra un nivel de color con el abanico DSM.¹⁹

En el presente estudio con los mismos niveles de xantofilas en ambas estirpes Hy-line W-36 e Isa-Babcock, se logró una pigmentación a base de saturación de amarillos de origen natural, es decir, sin la combinación de algún otro pigmento rojo. En el caso de la estirpe Hy-line W-36 en casi todos los tratamientos fue más baja en general, exceptuando el tratamiento con 97.9 ppm de xantofilas totales en la

dieta (10.4 para la Isa-Babcock B-380 y 10.5 para la Hy-line W-36, 0.1 punto de diferencia), al utilizar la escala del abanico de DSM. El hecho de que la gallina semipesada tenga una mayor pigmentación de yema se explica, ya que al ser la gallina Isa-Babcock B-380 un ave de mayor tamaño, en relación a las gallinas Leghorn, implica que sus necesidades de mantenimiento sean mayores que una ave ligera, por lo tanto su consumo de alimento es mayor y su vez de xantofilas totales fue mayor; sin embargo para la estirpe Hy-line W-36 y la estirpe Isa-Babcock B-380 los valores del color en la pigmentación de la yema del huevo fueron semejantes (Cuadro 7 y 8)

Cuadro 7. Consumo de Xantofilas totales, luteína y zeaxantina en gallinas Hy-Line W-36

TX	Consumo de Xantofilas mg/kg	Consumo de Luteína mg/kg	Consumo de Zeaxantina mg/kg
3.4 ppm	3.76	3.16	0.14
26.7 ppm	28.88	24.32	1.10
39.9 ppm	43.57	36.70	1.63
62.3ppm	67.28	56.67	2.56
97.9 ppm	107.69	90.71	4.10
128.2 ppm	138.71	116.84	5.28

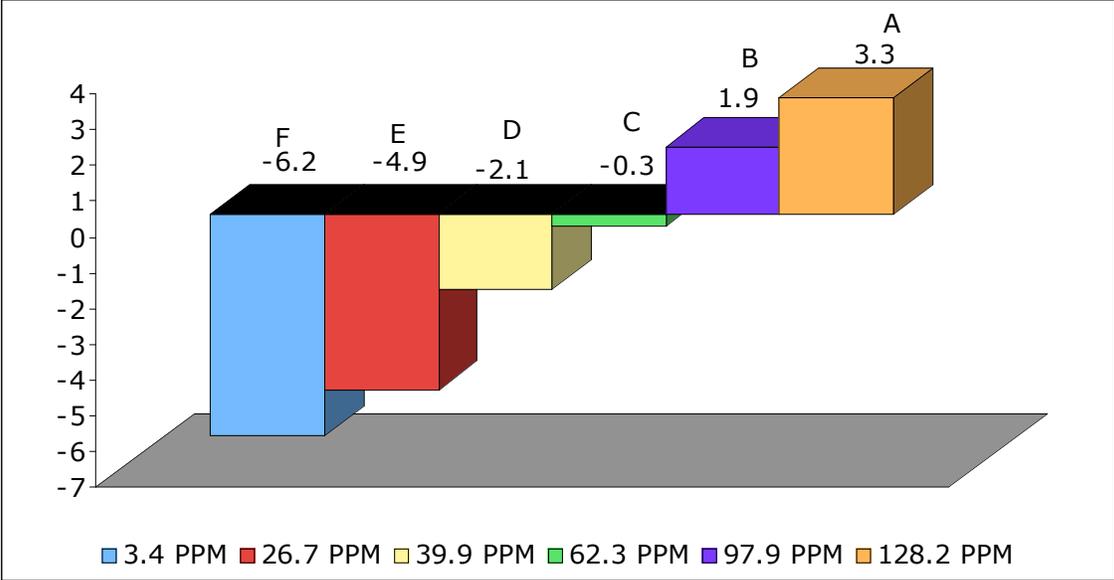
Cuadro 8. Consumo de Xantofilas totales, luteína y zeaxantina en gallinas Isa-Babcock B-380

TX	Consumo de Xantofilas mg/kg	Consumo de Luteína mg/kg	Consumo de Zeaxantina mg/kg
3.4 ppm	4.06	3.42	0.15
26.7 ppm	32.25	27.16	1.29
39.9 ppm	46.96	39.55	1.79
62.3ppm	75.00	63.18	2.85
97.9 ppm	116.89	98.46	4.45
128.2 ppm	151.40	127.53	5.76

En el caso de la evaluación del color de la yema del huevo utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300® como se aprecia en los cuadros 9 y 10 para la estirpe Hy-line W-36 e Isa-Babcock B-380 respectivamente. Al término del estudio para la variable rojos (a), se lograron resultados con diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre cada uno de los tratamientos, teniendo valores del colorímetro de reflectancia para la Hy-line W-36 que van desde los -6.2 hasta los 3.3 puntos presentado en la figura 10 y para la estirpe Isa-Babcock B-380 de los -6.3 a los 4.6 puntos mostrado en la figura 11. lo anterior sucedió por el incremento en las concentraciones de xantofilas totales; a medida que aumentaron los niveles de zeaxantina, se dieron las tonalidades naranjas en las yemas de los huevos de ambas estirpes.

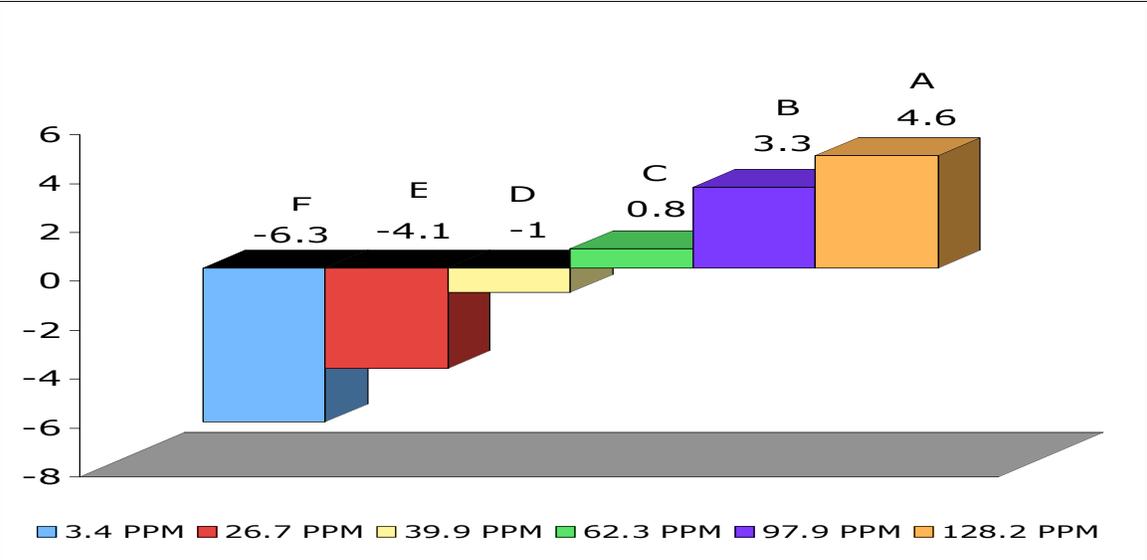
Para el enrojecimiento el efecto líneal fue ($P < 0.05$) significativo y se encontró una R^2 de .94 con la ecuación $Y = 5.56 + 0.07 X$ para la estirpe Hy-line W-36 y para la estirpe semipesada una R^2 de .91 con la ecuación $Y = 5.10 + 0.07X$

Figura 10 Enrojecimiento (a) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Hy-line W-36 utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

Figura 11. Enrojecimiento (a) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Isa- Babcock B-380 utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300



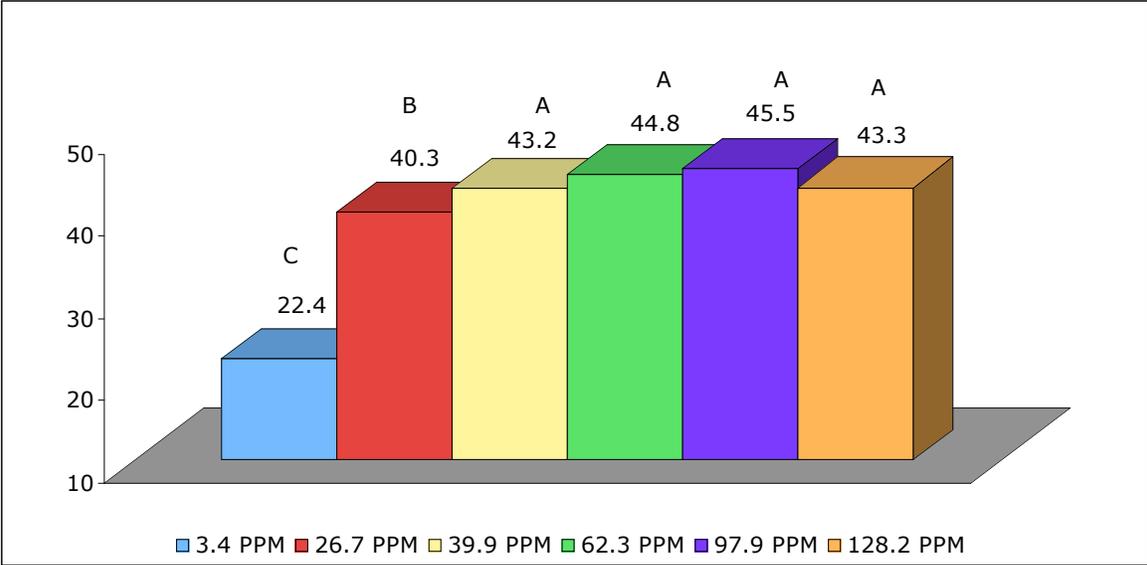
Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

Para la variable de amarillos (b), los resultados promedio presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos, para el caso de la estirpe blanca Hy-line W-36 el 1 (22.4) fue diferente con respecto a los demás, misma situación presentó el 2 (40.3), no así los tratamientos 3(43.2), 4(44.8), 5(45.5) y 6(43.3) que no presentaron diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$) entre ellos, pero sí con respecto al 1 y al 2 ($P < 0.05$) como se observa en la Figura 12. La estirpe Isa-Babcock B-380 mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos; el 1 (23.6) fue diferente con respecto a los demás, misma situación presentó el 2 (42.4), no así los tratamientos 3(46.9), 4(47.2), 5(45.9) y 6(45.4) que no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$) entre ellos, pero sí con respecto a los tratamientos 1 y 2 ($P < 0.05$) como se ve en la Figura 13.

La pigmentación de la yema de amarillo fue casi nula en el primer tratamiento, esto aunado a los resultados de abanico DSM con 2.9 y 3 puntos promedio de la escala del abanico DSM para ambas estirpes da una tonalidad pálida, esto es debido a la mínima cantidad de xantofilas en la dieta 1, siendo este el tratamiento testigo. Para el segundo tratamiento con 26.7ppm de xantofilas totales existe un incremento importante con respecto al primer tratamiento para las dos estirpes, no así del segundo tratamiento con respecto a los cuatro tratamientos que le prosiguen, ya que en estos cuatro últimos se presenta una saturación de pigmento amarillo, formando una meseta de los tratamientos 3, 4, 5 y 6 para las yemas de los huevos de las estirpes Hy-line W-36 y la Isa-Babcock B-380.

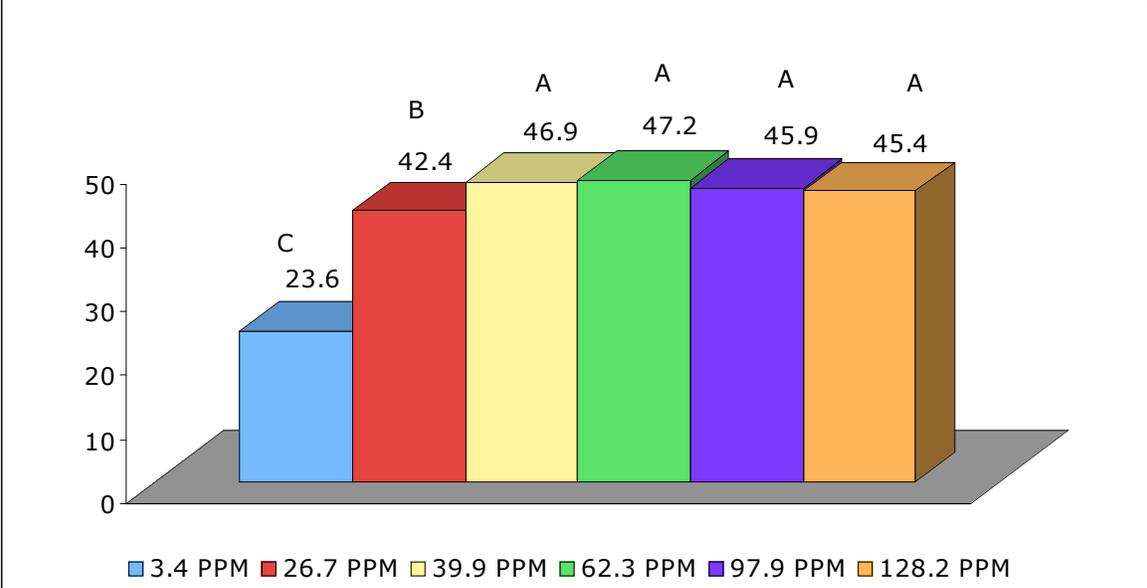
Lo anterior se confirma al ser aplicada esta respuesta por un modelo de regresión cuadrática ($P < 0.05$) con una R^2 de 0.84 y la ecuación $Y = 36.27 + 0.16 X - 0.002 X^2$ para la estirpe Hy-line W-36 y para la estirpe Isa-Babcock B-380 R^2 de = 0.75 y la ecuación $Y = 39.90 + 0.16 X - 0.002 X^2$, al despejar la ecuación de la regresión cuadrática se demuestra que es a partir del tratamiento con 39.9 ppm de xantofilas totales el punto de inflexión de la curva del modelo de regresión cuadrática y el inicio de la meseta de saturación del pigmento amarillo.

Figura 12 Amarillamiento (b) de la yema de huevo al adicionar xantofilas en dietas de gallinas Hy-line W-36 utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

Figura 13. Amarillamiento (b) de la yema al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Isa-Babcock B380 utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300



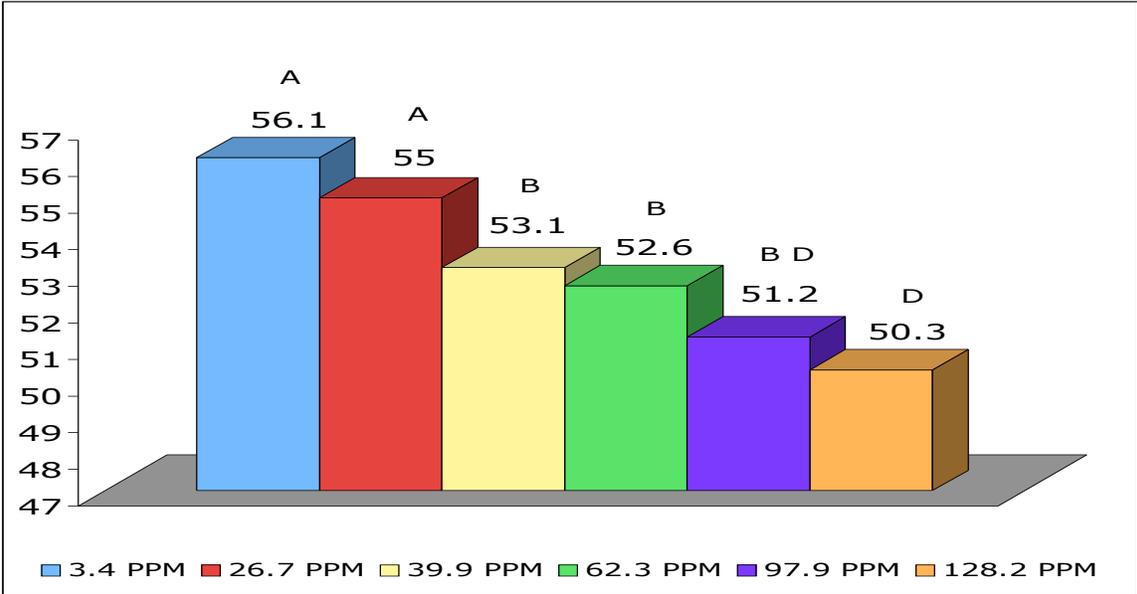
Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

En el análisis de la variable luminosidad (L) para la estirpe Hy-line W-36, los resultados no fueron diferentes entre sí como se presentan a continuación: el tratamiento 1 (56.1) respecto al 2 (55.0); el 3 (53.1) con el 4 (52.6); el 4 (52.6) y el 5 (51.2); y el 5 (51.2) respecto al 6 (50.3), como se presenta en la figura 14. En el caso de la estirpe Isa-Babcock B-380 los resultados promedio para la variable (L) no fueron diferentes entre tratamientos de la siguiente manera: el 1 (57.7) y el 2 (55.5); el 2 (55.5), el 3 (53.7) y el 4 (53.3); el tratamiento 5 (50.0) respecto al 6 (50.9); y el 3 (53.7), el 4 (53.3) y el 6 (50.9) respectivamente, esto se muestra en la figura 15.

El termino luminosidad se refiere a la ausencia de color amarillo en la yema del huevo, en este caso sucede lo contrario que en la variable de color de amarillos, ya que los tratamientos más luminosos para las dos estirpes son los tratamientos 1 y 2, ya que no existe diferencia estadística entre ellos y a medida que aumenta la concentración de xantofilas totales disminuye la luminosidad.

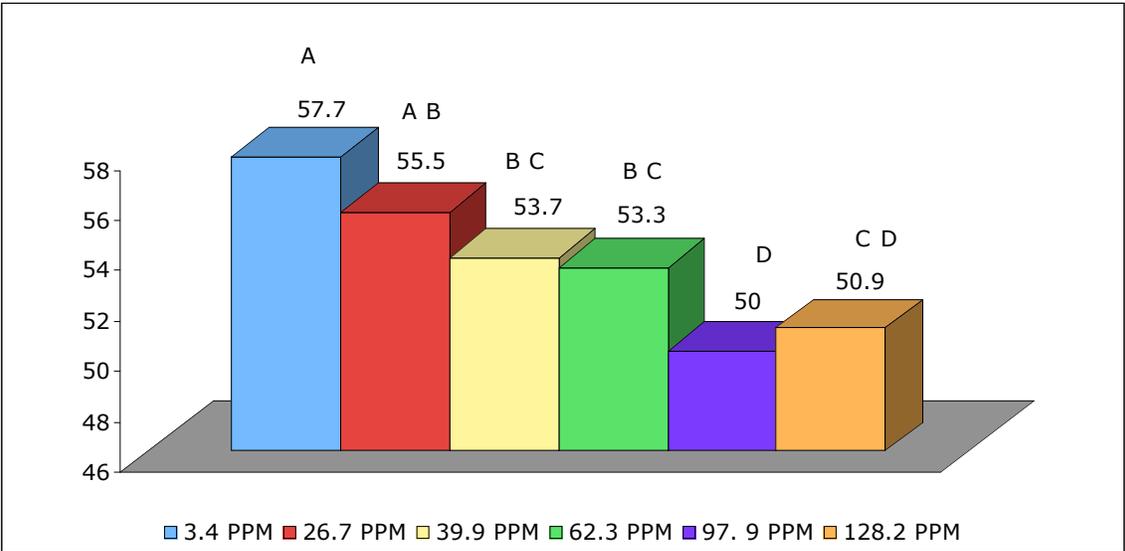
El efecto de esta variable fue significativa ($P < 0.05$) para el efecto lineal con una $R^2 = 0.84$ y la ecuación $Y = 55.48 - 0.04 X$ para la estirpe Hy-line W 36 y para la estirpe semipesada $R^2 = 0.66$ con la ecuación $Y = 56.57 - 0.05 X$

Figura 14. Luminosidad (L) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Hy-line W-36 utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

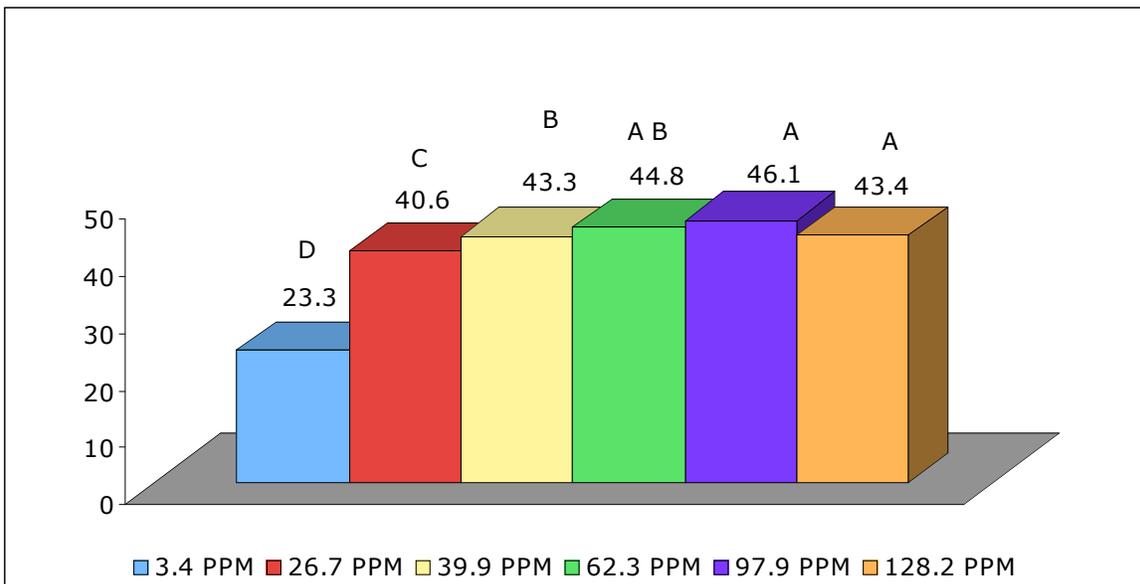
Figura 15. Luminosidad (L) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de Isa-Babcock B380 utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

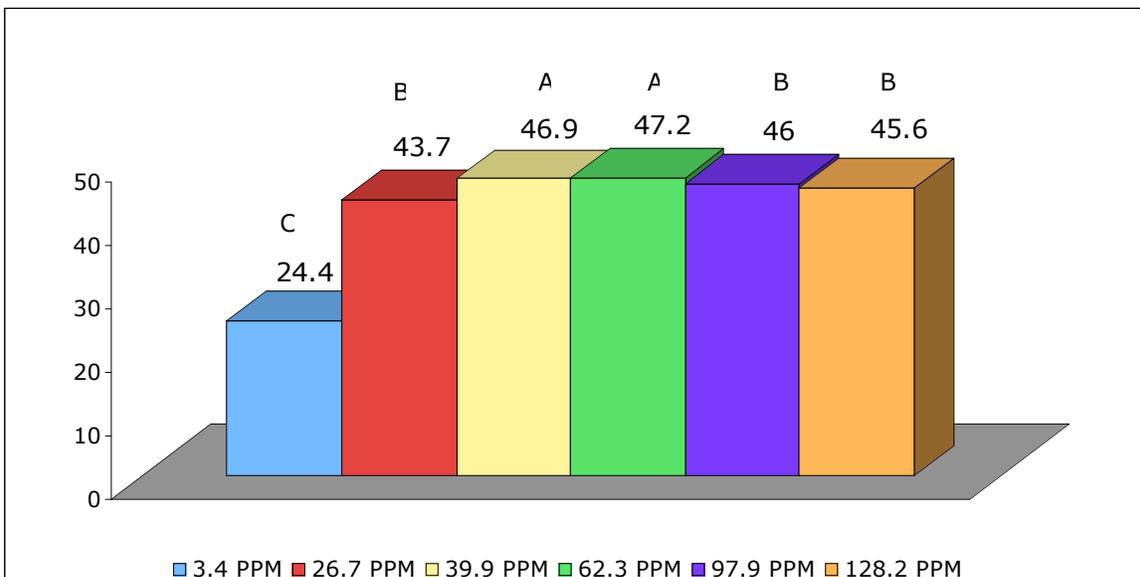
La variable Croma se refiere a la intensidad del color presente en la yema del huevo de la gallina. En la estirpe Hy-line W-36 observada en la Figura 16, no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos con 39.9, 62.3 y 128.2 ppm de xantofilas ($P>0.05$); los de 62.3 y 97.9 ppm tampoco son estadísticamente diferentes entre sí ($P>0.05$). Los de 3.4 y 26.7 ppm resultaron diferentes estadísticamente respecto a todos los demás ($P<0.05$). Para el caso de la estirpe Isa-Babcock B-380 mostrado en la Figura 17 se halló un croma similar en los tratamientos 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm, sin diferencia estadísticamente significativa ($P>0.05$); los que contenían 26.7, 97.9 y 128.2 ppm no son distintos estadísticamente entre ellos ($P>0.05$), por lo tanto, el de 3.4 ppm es diferente a todos los demás ($P<0.05$)

Figura 16. Croma (Intensidad de Color) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Hy-line W-36



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

Figura 17. Croma (Intensidad de color) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Isa-Babcock B-380



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

Cuadro 9. Evaluación del color de yema de huevo de gallinas Hy-Line W-36 utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300®

Tratamientos	Rojos	Amarillos	Luminosidad	Croma
3.4 ppm	-6.2 f	22.4 c	56.1 a	23.3 d
26.7 ppm	-4.9 e	40.3 b	55.0 a	40.6 c
39.9 ppm	-2.1 d	43.2 a	53.1 b	43.3 b
62.3ppm	-0.3 c	44.8 a	52.6 bc	44.8 ab
97.9 ppm	1.9 b	45.5 a	51.2 cd	46.1 a
128.2 ppm	3.3 a	43.3 a	50.3 d	43.4 b

Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

Cuadro 10. Evaluación del color de yema de huevo de gallinas Isa-Babcock B-380 utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300®

Tratamientos	Rojos	Amarillos	Luminosidad	Croma
3.4 ppm	-6.3 f	23.6 c	57.7 a	24.4 c
26.7 ppm	-4.1 e	42.4 b	55.5 ab	43.7 b
39.9 ppm	-1.0 d	46.9 a	53.7 bc	46.9 a
62.3ppm	0.8 c	47.2 a	53.3 bc	47.2 a
97.9 ppm	3.3 b	45.9 a	50.0 d	46.0 ab
128.2 ppm	4.6 a	45.4 a	50.9 cd	45.6 ab

Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

La medición del color con el abanico colorimétrico de DSM y por el colorímetro de reflectancia mostraron como al aumentar los niveles de xantofilas totales se refleja en mayor pigmentación. Otro aspecto a considerar es que la inclusión de xantofilas en las dietas de las gallinas ponedoras tiene como una de sus consecuencias la deposición de carotenoides en la yema del huevo, por tanto al analizar el contenido de xantofilas totales, luteína y zeaxantina en la yema del huevo, se pudo observar como aparece en los Cuadros 11 y 12 que existen diferencias estadísticamente significativas entre algunos de los tratamientos para xantofilas totales.

Al analizar el estudio por estirpe para la Hy-line W-36, se encontró que el tratamiento testigo fue distinto estadísticamente a todos los demás ($P < 0.05$). Los que contenían 26.7 y 39.9 ppm fueron iguales entre sí ($P > 0.05$), pero distintos al resto ($P < 0.05$). Los de 62.3 y 97.9 ppm no presentaron diferencias estadísticas entre ellos ($P > 0.05$), pero resultaron diferentes a los demás ($P < 0.05$), por ende el tratamiento con 128.2 ppm presentó estadísticamente diferente respecto a todos. Esto se muestra en el Cuadro 11 y Figura 18.

La deposición de xantofilas totales por parte de la estirpe Isa-Babcock B-380 en el huevo presentó una diferencia muy marcada por cada tratamiento entre sí ($P < 0.05$), como se observa en el Cuadro 12 y Figura 19.

La deposición de xantofilas totales y por tanto de luteína y zeaxantina presentó una deposición lineal, a medida que se aumentaron los niveles de xantofilas en las dietas de las aves se incrementaron los mg de deposición en 60g de huevo para ambas estirpes con un efecto significativo ($P < 0.05$) para el modelo lineal con una $R^2 = 0.95$ explicando con la ecuación $Y = 6.32 + 0.42 X$ para la estirpe Isa-Babcock B-380 y para la estirpe ligera presentó una $R^2 = .90$ con la ecuación $Y = 8.0 + 0.36 X$

El huevo, normalmente contiene niveles de xantofilas totales que van desde 0.3 a 0.5 mg²⁸, este dato coincide con el tratamiento testigo que tenía 3.4 ppm de xantofilas totales, presentando .39 mg para el huevo de 60g de la estirpe Hy-line W-36 y para la estirpe Isa-Babcock B-380 y .21 mg de xantofilas totales.

Estudios realizados por Leeson *et al* en 2004,²⁹ obtuvieron información sobre la deposición de la luteína y zeaxantina de *Tagetes* en la yema de huevo, añadieron diferentes niveles de xantofilas, encontrando que el mayor incremento de luteína y zeaxantina en el huevo se alcanzó con 451 ppm logrando una deposición de 1.49 mg de luteína y 0.13 mg de zeaxantina / 60 g de huevo en 30 días del estudio, en el presente estudio resultados similares se lograron con 62.3 ppm de xantofilas totales en la dieta de gallinas de ambas estirpes. El nivel más alto encontrado en este experimento se alcanzó con 128.2 ppm con una deposición de luteína 2.84 mg/60 g de huevo y de zeaxantina 0.10 mg/60g de huevo en el caso de la estirpe hy-line W-36 como se observa en el Cuadro 11 y para la estirpe Isa-Babcock B-380 una deposición de luteína de 2.38 mg/60 g de huevo y de zeaxantina 0.11 mg/60g de

huevo con 128.2 ppm de xantofilas totales en sus dietas como se expresa en el Cuadro 12, la diferencia fue que el presente estudio se analizó el contenido de xantofilas en la yema hasta el día 70 de haber estado consumiendo los carotenoides, lo que hace pensar que el tiempo de exposición de los xantofilas en la dieta de las gallinas puede influir en la deposición de la luteína y la zeaxantina en la yema del huevo.

En trabajos publicados por Chung et al. en 2004,³¹ en el cual utilizaron huevos enriquecidos para demostrar la biodisponibilidad de la luteína del huevo, obteniendo datos que demuestran que un huevo enriquecido con luteína contiene 2.67 +/- 0.11 mg de luteína y 0.31 +/- 0.02 mg de zeaxantina / 100g (huevo enriquecido cinco veces más de lo encontrado en un huevo normal)

La aportación de un huevo enriquecidos a la dieta del hombre y satisfacción de requerimientos del mismo de luteína y zeaxantina representa un importante apoyo a las recomendaciones de consumo del hombre que va de los 6 a los 14 mg por día.³⁹

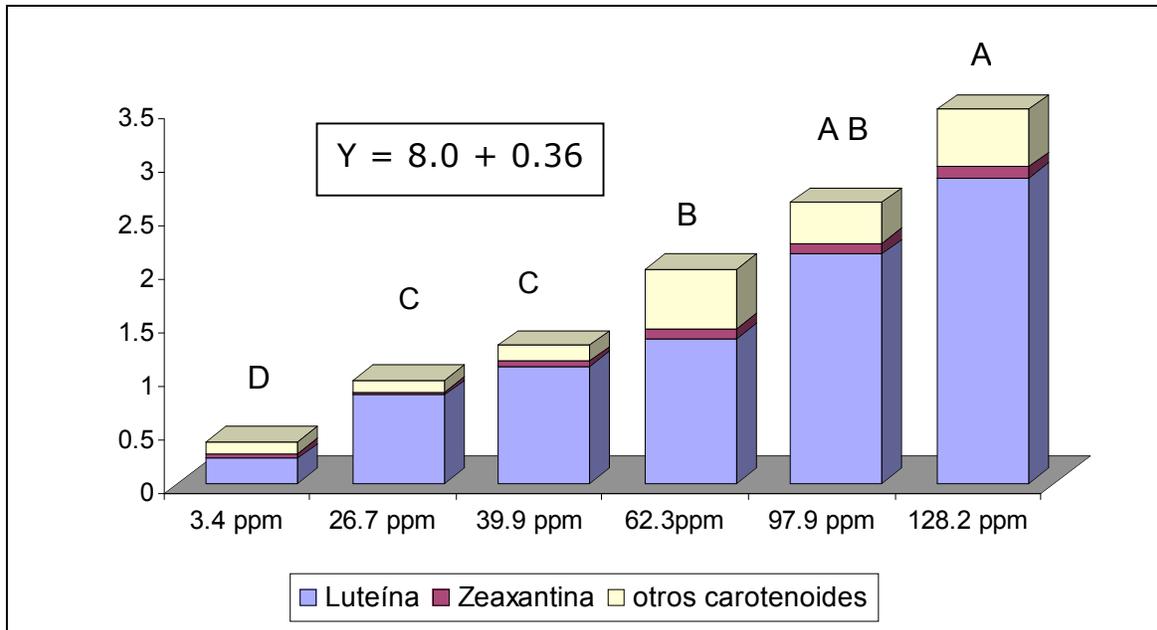
Es decir, el consumo de un par de huevos enriquecidos presentados en este estudio de cualquiera de las estirpes con el tratamiento 128.2 ppm de xantofilas totales satisfacen más del 80% de los requerimientos de una persona de luteína al día, ya que aportan 6.94 mg de xantofilas totales, 5.68 mg de luteína y .20 mg de zeaxantina para la estirpe Hy-line W-36 y 7.48 mg de xantofilas totales, 4.76 de luteína y .22 de zeaxantina para los huevos de la estirpe Isa-Babcock B-380

Cuadro 11. Evaluación de la deposición de Xantofilas totales en 60g de huevo de gallinas Hy-Line W-36

Tratamientos	Xantofilas totales mg/60g	Luteína mg/60g	Zeaxantina mg/60g	Luteína + Zeaxantina mg/60g
3.4 ppm	0.39 d	0.23	0.05	0.28
26.7 ppm	0.96 c	0.82	0.03	0.85
39.9 ppm	1.28 c	1.09	0.04	1.13
62.3ppm	1.99 b	1.34	0.10	1.44
97.9 ppm	2.61 a b	2.13	0.10	2.23
128.2 ppm	3.47 a	2.84	0.10	2.94

Efecto lineal significativo (P<0.05)

Figura 18. Deposición de Xantofilas totales (mg) en 60g de huevo de gallinas Hy-line W-36



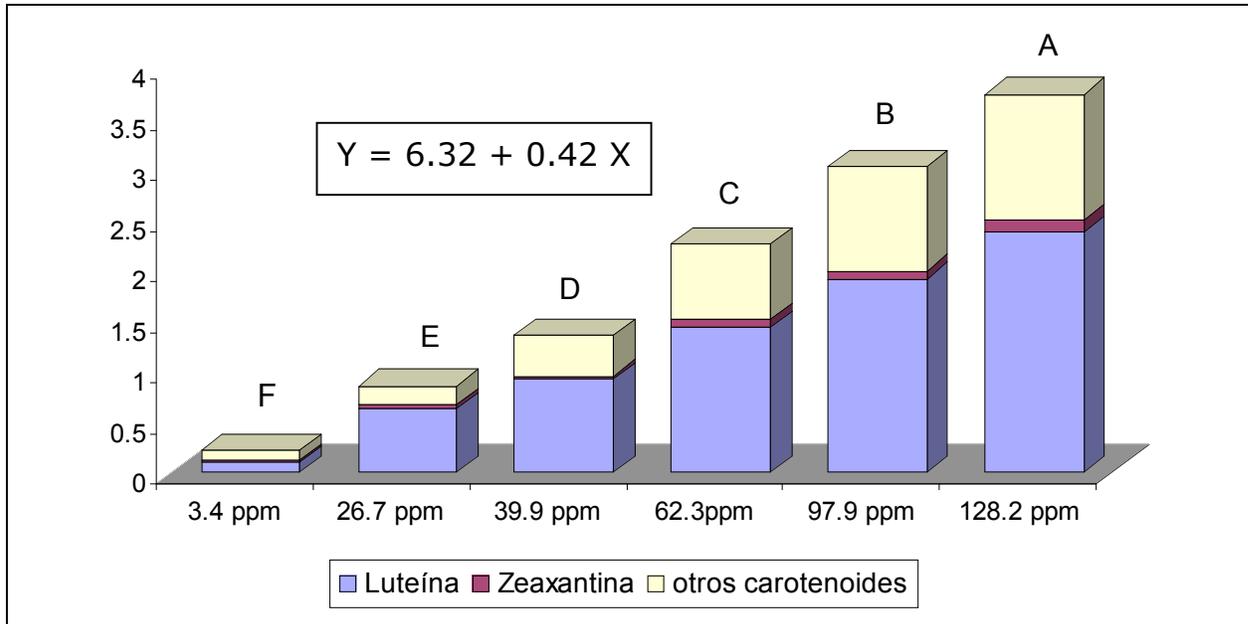
Distinta literal indica diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

Cuadro 12. Evaluación de la deposición de Xantofilas totales en 60g de huevo de gallinas Isa-Babcock B 380

Tratamientos	Xantofilas totales mg/60g	Luteína mg/60g	Zeaxantina mg/60g	Luteína + Zeaxantina mg/60g
3.4 ppm	0.21 f	0.09	0.02	0.11
26.7 ppm	0.85 e	0.63	0.03	0.69
39.9 ppm	1.35 d	0.92	0.03	0.95
62.3 ppm	2.26 c	1.43	0.08	1.51
97.9 ppm	3.02 b	1.91	0.08	1.99
128.2 ppm	3.74 a	2.38	0.11	2.49

Efecto lineal significativo ($P < 0.05$)

Figura 19. Deposición de xantofilas totales (mg) en 60g de huevo de gallinas Isa-Babcock B-380



Distinta literal indica diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

La eficiencia de transferencia de las xantofilas en las aves es muy baja, asumiendo un consumo de 95 g de alimento por día con 50 g de masa de huevo por ave por día, la eficiencia de conversión de la luteína del alimento a la yema del huevo es de alrededor de 10% con 125 ppm en la dieta, disminuyendo a 3% con en nivel de suplementación de 500 ppm, dichos resultados fueron presentados por Leeson y Caston²⁹ los comparte con Steinberg et al. en el 2000²⁸, con niveles máximos de inclusión de luteína del 120 ppm y en un subsecuente estudio, Grashorn y Steinberg en el 2002 presentaron mayor nivel de transferencia para la cantaxantina.²⁸

El éxito de deposición de los carotenoides dependerá de la capacidad de las aves para absorber sustancias liposolubles, edad del ave, cantidad y tipo de grasa en la dieta, origen de xantofilas, entre otros factores. En

este trabajo se observó que entre mayor era el contenido de xantofilas en la dieta, menor fue la capacidad de deposición de las aves, es decir, una mayor cantidad de xantofilas fue depositada en otras partes del cuerpo del ave o excretada por una deficiente capacidad de absorción del ave como se observa en el Cuadro 13 y 14 para la estirpe Hy-line W-36 e Isa-Babcock B-380 respectivamente, mismo efecto observaron Lesson y Caston en el 2004 ($P < 0.01$)²⁹.

Cuadro 13. Eficiencia de depósito de xantofilas por masa de huevo en huevo de gallinas Hy-line W-36

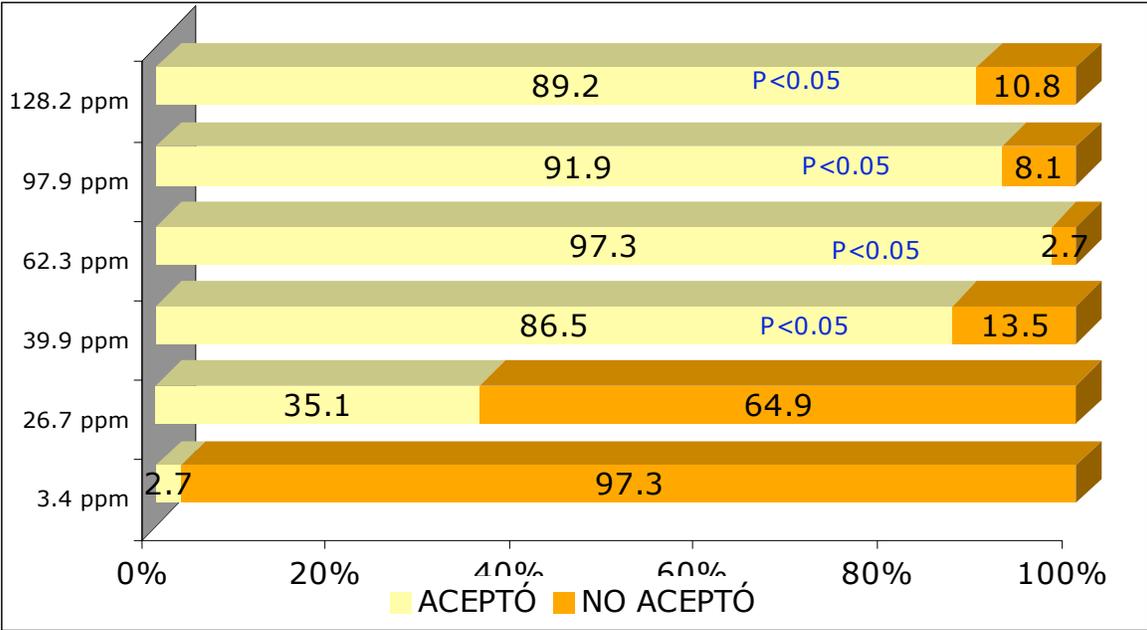
Tratamientos	Xantofilas Totales	Luteína	Zeaxantina
26.7 ppm	31.4 %	26.8 %	1 %
39.9 ppm	28.3 %	24.1 %	0.9 %
62.3 ppm	28.4 %	19.1 %	1.4 %
97.9 ppm	23.7 %	19.3 %	0.9 %
128.2 ppm	23.4 %	19.2 %	0.7 %

Cuadro 14. Eficiencia de depósito de xantofilas por masa de huevo en huevo de gallinas Isa-Babcock B-380

Tratamientos	Xantofilas Totales	Luteína	Zeaxantina
26.7 ppm	27.6 %	20.5 %	0.9 %
39.9 ppm	28.1 %	19.1 %	0.6 %
62.3ppm	31.4 %	19.8 %	1.1 %
97.9 ppm	26.8 %	16.9 %	0.7 %
128.2 ppm	24.9 %	15.8 %	0.7 %

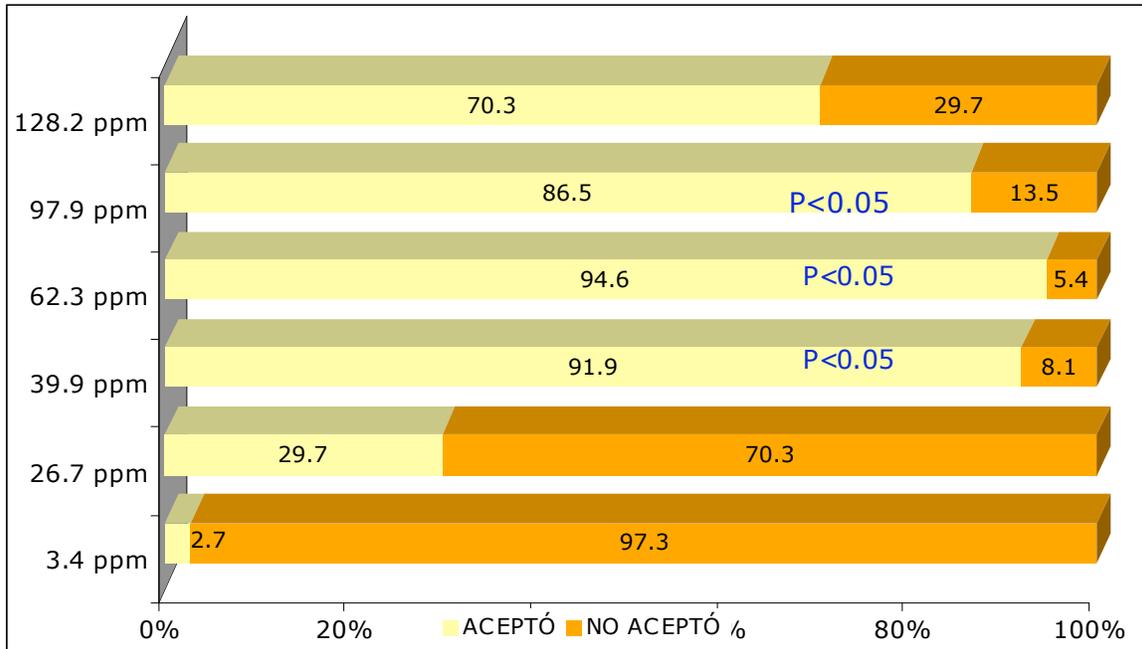
EVALUACIÓN SENSORIAL: Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas organolépticas realizadas al huevo fueron para aceptación: En el caso de color de yema de huevo, las yemas aceptadas fueron las de los tratamientos con 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de xantofilas totales en dietas de gallinas Hy-line W-36 con diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$), de la misma forma para los huevos de las gallinas Isa-Babcock B-380 siendo la aceptación del color de la yema positiva para el tratamiento con 39.9, 62.3 y 97.9 ppm de xantofilas totales ($P < 0.05$), como se observan en las figuras 20 y 21 respectivamente.

Figura 20. Prueba de aceptación de color de yema de huevo de gallina Hy-line W-36



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

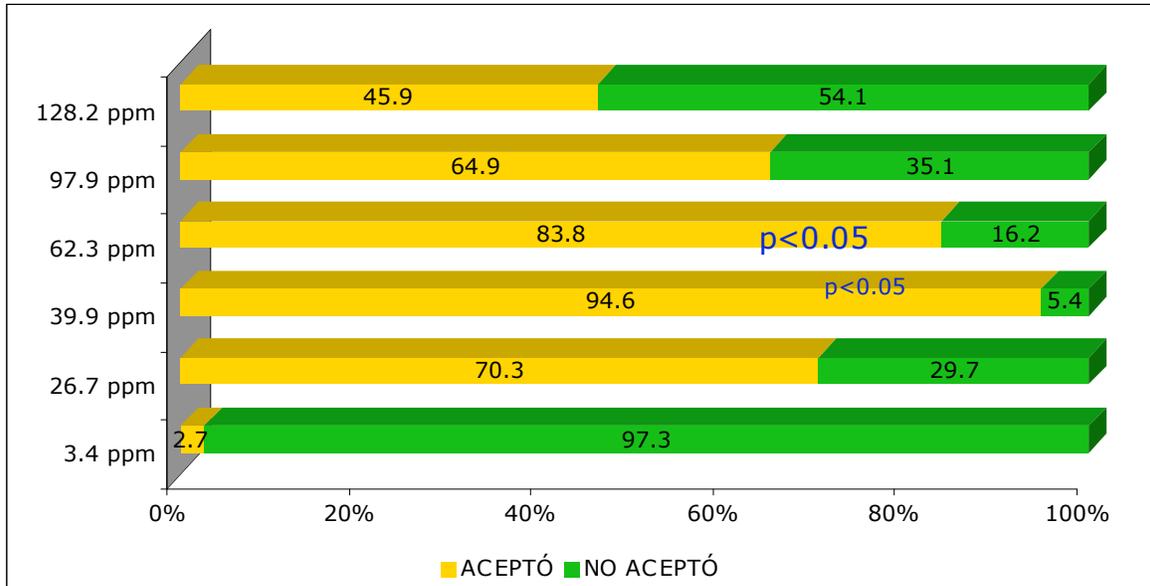
Figura 21. Prueba de aceptación de color de yema de huevo de gallina Isa-Babcock B-380



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

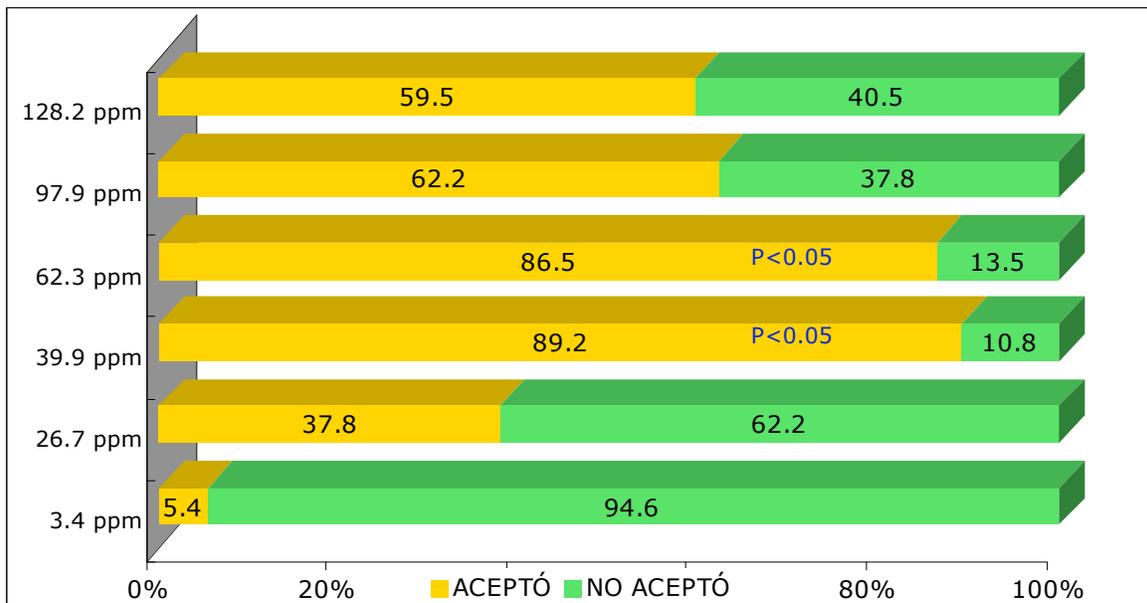
Para la prueba de aceptación del color de huevo revuelto (cocido en tortilla), fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) y aprobatoria en el caso de los tratamientos con 26.7, 39.9 y 62.3 ppm de xantofilas totales, siendo el tratamiento con 39.9 ppm con la aprobación de casi el 95% para el huevo de gallina Hy-line W-36 y la misma prueba, pero en huevo de la gallina Isa-Babcock B-380 se obtuvieron datos similares, dando los resultados más contundentes en aprobación los tratamientos con 39.9, y 62.3 ppm de xantofilas totales ($P < 0.05$), como se indica en las Figuras 22 y 23 respectivamente.

Figura 22. Prueba de aceptación de color de huevo revuelto de gallina Hy-line W-36



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

Figura 23. Prueba de aceptación de color de yema de huevo revuelto de gallina Isa-Babcock B- 380



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

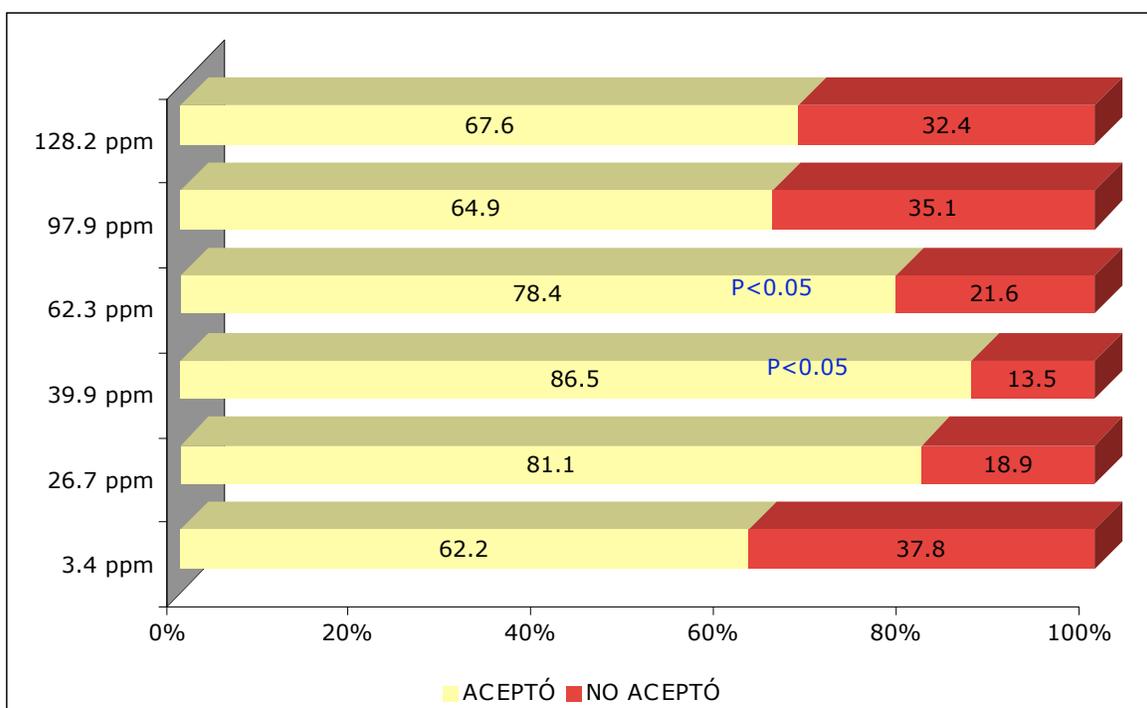
En el caso de la aceptación del sabor del huevo revuelto con la adición de xantofilas, los comensales reaccionaron inesperadamente, ya que la aceptación del sabor fue muy similar a la aceptación del color de la yema de huevo, en que los tratamientos mayormente aceptados estadísticamente ($P < 0.05$), en su sabor fueron el tratamiento con 26.7, 39.9 y 62.3 ppm de xantofilas totales en huevo de gallina Hy-line W-36 solamente, y en caso del sabor de los huevos de gallinas Isa-Babcock B-380 la aceptación solo fue positiva estadísticamente para los tratamientos 39.9 y 62.3 ppm de xantofilas totales en las dietas de las aves. Lo anterior coincide en el caso de la aceptación de yema de huevo con el color, de huevo revuelto en ambas estirpes, lo que confirma la teoría de que los jueces relacionan en su mente el color de un alimento con su sabor.

Respecto a las pruebas de preferencia del color de la yema de huevo de gallina Isa-Babcock B-380, los tratamientos de 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de xantofilas fueron la primera elección de los panelistas; tuvieron la misma preferencia estadísticamente ($P > 0.05$), es decir, no existió preferencia de los jueces sobre color de yema entre estos tratamientos, fue distinto estadísticamente ($P < 0.05$) los tratamientos con 3.4 y 26.7 ppm de xantofilas entre ellos y los demás tratamientos. Teniendo una menor predilección al momento de hacer su elección el color de la yema del tratamiento con menor cantidad de xantofilas.

En la prueba de preferencia de color de huevo revuelto (cocido, tortilla) la preferencia apunto por los tratamientos con 39.9 y 62.3 ppm de xantofilas, no teniendo diferencia estadística entre ellos ($P > 0.05$), si

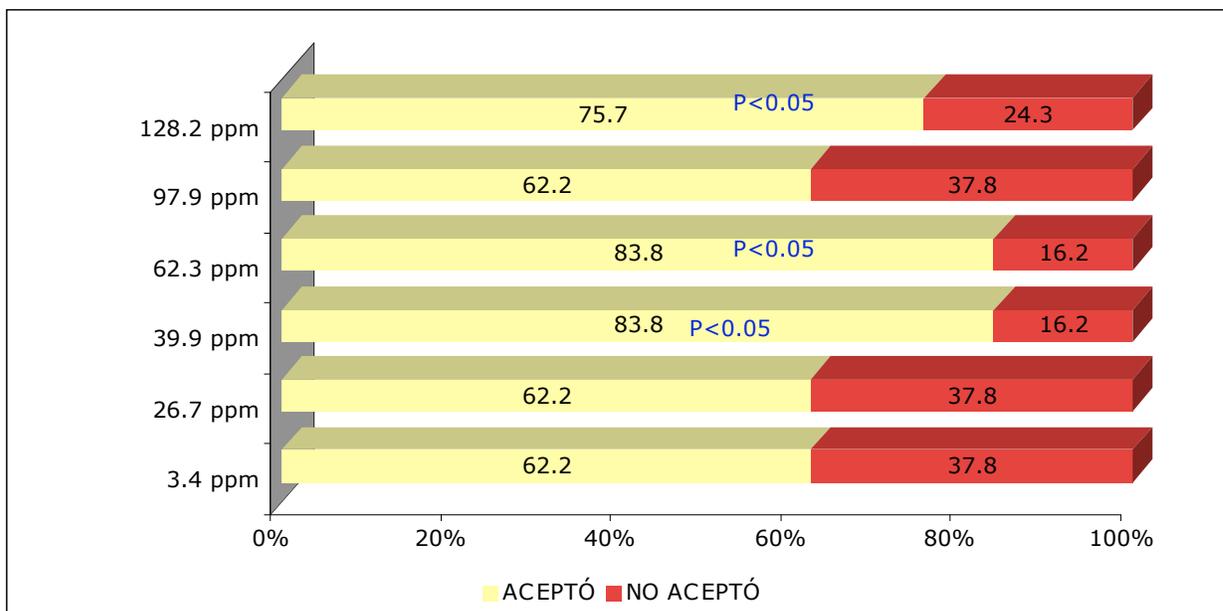
entre los demás, la segunda elección de los comensales fueron los tratamientos 26.7, 97.9 y 128.2 sin diferencia estadística entre estos ($P>0.05$), si con respecto a los demás y por ultimo el tratamiento que tuvo un menor atractivo para los panelistas fue el tratamiento con 3.4 ppm de xantofilas.

Figura 24. Prueba de aceptación de sabor de huevo revuelto de gallina Hy-line W-36



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa ($P<0.05$)

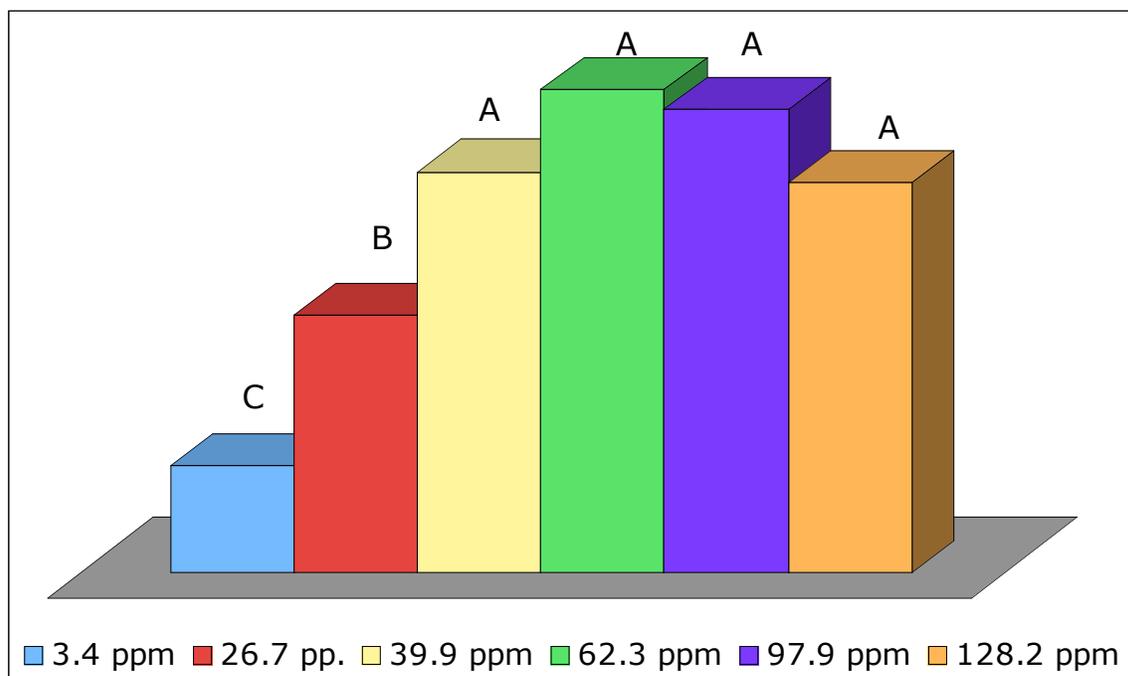
Figura 25. Prueba de aceptación de sabor de huevo revuelto de gallina Isa-Babcock - 380



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05)

En la prueba de preferencia de color de yema de huevo de ambas estirpes, los tratamientos con mayor predilección a la vista fueron los siguientes: con 39.9, 62.3, 97.9 y 128.2 ppm de xantofilas totales ($P > 0.05$), y diferentes estadísticamente respecto a los tratamientos con 26.7 y 3.4 ppm de xantofilas totales entre sí y entre los demás. ($P < 0.05$) Esto se entiende ya que en el centro del país se prefieren huevos pigmentados, los huevos con menor nivel de pigmentación no son aceptados por el grueso de la población de la zona; el abanico colorimétrico de DSM muestra el rango de predilección alrededor de los 10 puntos en el centro del país y en este estudio los de mayor preferencia van de los 8.5 a los 11 puntos del mismo.

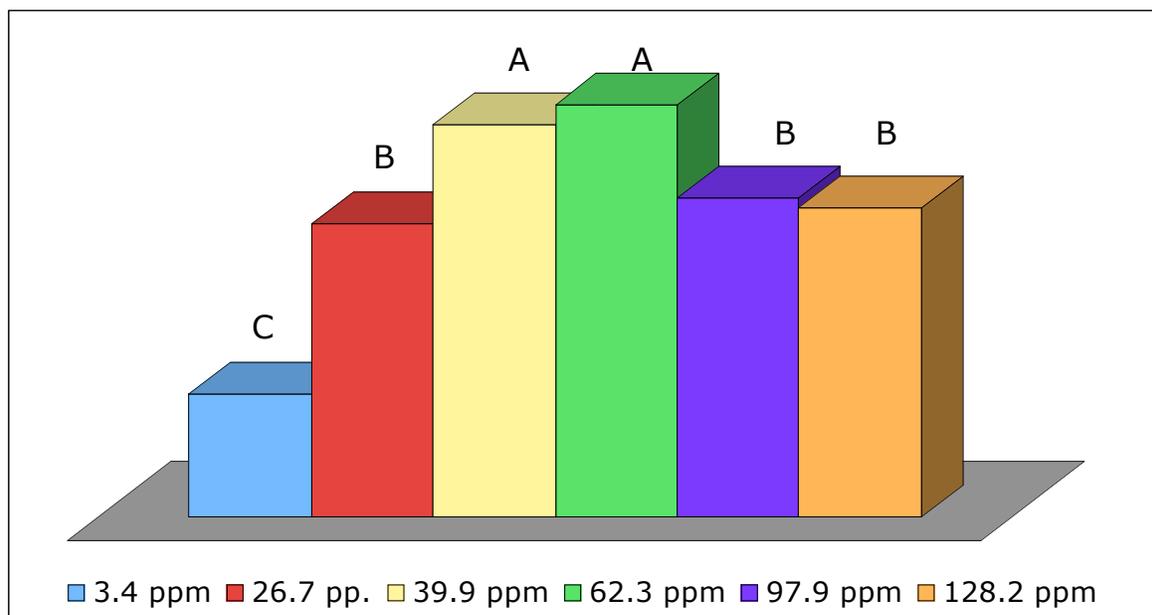
Figura 26. Prueba de preferencia de color de yema de huevo.



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

Para la prueba de preferencia de color de huevo revuelto de ambas estirpes, los tratamientos con mayor predilección a la vista fueron el 39.9 y 62.3 ppm de xantofilas totales ($P>0.05$). Esto tal vez sucede a que dichas dietas reflejaron en los huevos un color familiar al acostumbrado en las mesas del centro del país. Los huevos de los tratamientos con 26.7, 97.9 y 128.2 ppm de xantofilas totales son similares estadísticamente ($P>0.05$), encontrándose en segundo lugar de preferencia, este resultado es el reflejo de un exceso en la pigmentación de los dos últimos tratamientos, provocando desconfianza en los comensales. Finalmente el tratamiento con 3.4 ppm de xantofilas totales muestra la menor predilección entre los panelistas, siendo diferente estadísticamente con respecto a los demás tratamientos ($P<0.05$), ya que prácticamente carecía de pigmento el huevo.

Figura 27. Prueba de preferencia de color de huevo revuelto



Valores con distinta literal indican diferencia estadísticamente significativa ($P<0.05$)

VII. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos bajo las condiciones experimentales empleadas se infiere:

El adicionar distintos niveles de xantofilas de flor de cempasúchil (84.24 % de luteína y 3.29% de zeaxantina) en dietas de gallinas Hy-line e Isa-Babcock B-380 no modifica parámetros de producción. ($P > 0.05$)

El mayor consumo de xantofilas totales de flor de cempasúchil tienen un efecto pigmentante en la yema de huevo y de la deposición de luteína y zeaxantina en la yema del huevo.

Al utilizar el abanico de DSM y el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300, se observó que a medida que se incrementaban los niveles de xantofilas en las dietas de las aves, en la yema de los huevos de estas se incrementaba la pigmentación.

Al evaluar el amarillamiento en la yema del huevo en ambas estirpes se localiza una meseta de color amarillo a partir del tratamiento con 39.9 ppm con una R^2 del modelo de 0.84, que es el punto en el cual hay una saturación de color amarillo.

Al estudiar el enrojecimiento se observó que a medida que se incrementan los niveles de xantofilas en las dietas de ambas estirpes y por tanto se incrementan los consumos de zeaxantina, lo que se refleja en tonalidades naranjas en las yemas con una tendencia lineal

($P < 0.05$), pasando por valores negativos y terminando con valores positivos de rojos.

El adicionar flor de cempasúchil en dietas para gallinas Hy-line W-36 e Isa-Babcock B-380 en producción, se modifica el grado de pigmentación de la yema del huevo y esto es un reflejo de la deposición de luteína y zeaxantina de la misma, logrando una tasa de transferencia baja de la luteína y zeaxantina misma que disminuye a medida que se aumentan los niveles de carotenoides en la dieta de ambas estirpes.

La deposición de luteína y zeaxantina en la yema del huevo se presenta en forma líneal ($P < 0.05$) a medida que se incrementan los niveles de xantofilas, sin encontrar algún punto de saturación de estos carotenoides en la yema del huevo.

La deposición de luteína y zeaxantina en la yema de los huevos con el tratamiento con 128.2 ppm aportan 3.47 mg de xantofilas totales, 2.84 mg de luteína y 0.10 mg de zeaxantina en 60g de huevo para la estirpe Hy-line W-36 y 3.47mg de xantofilas totales, 2.38 de luteína y 0.11 de zeaxantina en 60g de huevo de la estirpe Isa-Babcock B-380.

El estudio de la aceptación de los huevos en yema dió como resultado el rechazo de las yemas con baja pigmentación en ambas estirpes (3.4 ppm) y la predilección a simple vista de las yemas de huevos se inclinó hacia los tratamientos con 39.9, 62.3, 97.9 y 128 ppm de xantofilas totales.

Al ser evaluada el color de la yema del huevo revuelto para ambas estirpes la aceptación fue positiva, al igual que el orden de preferencia fue para los tratamientos con 39.9 ppm y 62.3 ppm.

Los tratamientos 39.9 ppm y 62.3 ppm para ambas estirpes fueron los más aceptados cuando de sabor de huevos se trató. El sabor que fue de menor predilección fueron los tratamientos con 3.4 y 26.7 ppm de xantofilas totales.

⁶² Halaj, M., *et al.* The effect of synthetic pigment addition to feed on the color of hen egg yolk. Czech journal of animal science, 44: 187-92, 1999.

(ANEXO 1)

NOMBRE _____ PRODUCTO: COLOR DE YEMA
FECHA _____ PRUEBA PARA: COLOR

Indique con una "X" su aceptación al **observar** detenidamente el color de cada yema de huevo que se le presentan a continuación.

MUESTRA NO	SI
185 _____	_____
563 _____	_____
983 _____	_____
318 _____	_____
755 _____	_____
813 _____	_____

Indique los códigos por orden de preferencia al **observar** las diferentes muestras de color de yema de huevo.

1er lugar _____

2º lugar _____

3er lugar _____

4º lugar _____

5º lugar _____

6º lugar _____

OBSERVACIONES _____

GRACIAS

(ANEXO 2)

NOMBRE _____ PRODUCTO: COLOR DEL HUEVO

REVUELTO

FECHA _____ PRUEBA PARA: COLOR DEL HUEVO

REVUELTO

Indique con una "X" su aceptación al **observar** detenidamente el color de cada huevo revuelto que se le presentan a continuación.

MUESTRA
NO

SI

185

563

983	_____
318	_____
755	_____
813	_____

Indique los códigos por orden de preferencia al **observar** las diferentes muestras de color de huevo revuelto.

- 1er lugar _____
- 2º lugar _____
- 3er lugar _____
- 4º lugar _____
- 5º lugar _____
- 6º lugar _____

OBSERVACIONES _____

GRACIAS

(ANEXO 3)

NOMBRE _____ PRODUCTO: HUEVO
REVUELTO
FECHA _____ PRUEBA PARA: SABOR

Indique con una "X" su aceptación al sabor al probar las diferentes muestras de huevo revuelto que se le presentan a continuación. **Es importante que entre muestra muestra tome un poco de agua y pan.**

MUESTRA NO	SI
185 _____	_____
563 _____	_____
983 _____	_____
318 _____	_____
755 _____	_____
813 _____	_____

Indique los códigos por orden de preferencia al PROBAR las diferentes muestras de huevo revuelto.

1er lugar _____

2º lugar _____

3er lugar _____

4° lugar _____

5° lugar _____

6° lugar _____

OBSERVACIONES _____

GRACIAS

(ANEXO 4)

NOMBRE _____ PRODUCTO: COLOR DE
YEMA

FECHA _____ PRUEBA PARA: COLOR

Indique con una "X" su aceptación al **observar** detenidamente el color de cada yema de huevo que se le presentan a continuación.

MUESTRA NO	SI
979 _____	_____
321 _____	_____
897 _____	_____
456 _____	_____
678 _____	_____
256 _____	_____

Indique los códigos por orden de preferencia al **observar** las diferentes muestras de color de yema de huevo.

1er lugar _____

2º lugar _____

3er lugar _____

4º lugar _____

5º lugar _____

6º lugar _____

OBSERVACIONES _____

GRACIAS

(ANEXO 5)

NOMBRE _____ PRODUCTO: COLOR DEL HUEVO

REVUELTO

FECHA _____ PRUEBA PARA: COLOR DEL HUEVO

REVUELTO

Indique con una "X" su aceptación al **observar** detenidamente el color de cada huevo revuelto que se le presentan a continuación.

MUESTRA
NO

SI

425

237

629	_____

555	_____

799	_____

167	_____

Indique los códigos por orden de preferencia al **observar** las diferentes muestras de color de huevo revuelto.

- 1er lugar _____
- 2º lugar _____
- 3er lugar _____
- 4º lugar _____
- 5º lugar _____
- 6º lugar _____

OBSERVACIONES _____

GRACIAS

(ANEXO 6)

NOMBRE _____ PRODUCTO: HUEVO
REVUELTO
FECHA _____ PRUEBA PARA: SABOR

Indique con una "X" su aceptación al sabor al probar las diferentes muestras de huevo revuelto que se le presentan a continuación. **Es importante que entre muestra muestra tome un poco de agua y pan.**

MUESTRA NO	SI
425 _____	_____
237 _____	_____
629 _____	_____
555 _____	_____
799 _____	_____
167 _____	_____

Indique los códigos por orden de preferencia al PROBAR las diferentes muestras de huevo revuelto.

1er lugar _____

2º lugar _____

3er lugar _____

4° lugar _____

5° lugar _____

6° lugar _____

OBSERVACIONES _____

GRACIAS

VIII. LITERATURA CITADA

- ¹ Unión Nacional de Avicultores. Monografía de la Avicultura (página electrónica) <http://www.una.org.mx/> fecha de consulta:16-06-05
- ² Avila GE, Shimada AS y Llamas, G. Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México AC , México, 1990.
- ³ Sundae, M.L. Symposium: The scientific way to pigment poultry products. University of Wisconsin at Madison, Madison Wisconsin. Poultry Science 71: 709-710, 1992
- ⁴ Pontes P. M. y Castello L. J. Alimentación de las aves. Real Escuela de Avicultura. España, 1995.
- ⁵ Arai S. Studies of Functional Foods in Japan. State of the Art. Biosc. Biotechg. Biochem. 60:9-15, 1996
- ⁶ Hallingworth P. Mainstreaming healthy foods. Food Technol. 51(3) :55-58, 1997
- ⁷ Wildman C.R.E. Handbook of nutraceutical and functional foods. Ed Wildman CRE. CRC Press. USA. 542. 2001.
- ⁸ Best D. All natural and nutraceutical. Prepared foods 166 (6) :32-38, 1997.

⁹ Simopoulos, A. Symposium: Role of poultry products in enriching the human diet with PUFA, Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry Science*, 79:961-970, 2000

¹⁰ Fletcher D.L. Methodology for achieving pigment specification. *Poultry Sci.* 71: 733-743, 1992.

¹¹ Schiedt, K, Absorption, retention and metabolic transformation of carotenoids in chicken, salmonids and crustacea. Thesis for the doctorate degree. Norwegian institute of Technology. University of Trondheim, Switzerland, 1987.

¹² Mora O. Estudios sobre el metabolismo de los β - carotenos en bovinos para prevenir la pigmentación de la grasa. UNAM- FMVZ México, 1998. Tesis de doctorado.

¹³ Schaeffer L.L. *et al.* Carotenoids composition. *Poultry Sci.* 67: 608-614, 1988.

¹⁴ Tee E. S. Carotenoids and retinoids in human nutrition: critical reviews in food science and nutrition. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida. 31 (1/2) 103- 163, 1992.

¹⁵ Elboushy A.R. y R. Raterink. Various aspects of egg yolk pigmentation explored. *Feedstuffs*, 61: 5 -41, 1989.

¹⁶ Marusich WL Collaborative ANRC Broiler pigmentation standard study: final report. *Feedstuffs*, 42: 10-30, 1970.

¹⁷ Anzures E.V. Evaluación del efecto pigmentante de un extracto de carotenoides del achiote (*Bixa arellana L*) para el pollo de engorda. Tesis Universidad Autónoma de Chapingo, Depto. de Zootecnia. 1995.

¹⁸ Leeson, S y JD Summers . Commercial Poultry Nutrition. Publ. Univ. Books, Guelph, ON. 1997

¹⁹ Fernández, S. Pigmentación en la agricultura. Memorias de Simposio Aditivos empleados en la alimentación animal y sus implicaciones en la salud pública, México, 2002.

²⁰ Tyczkowski, J. y Hamilton P. Absorption, transport, and deposition in chickens of lutein diester, a carotenoid extracted from marigold (*Tagetes erecta*) petals. *Poultry Science* 65: 1526-1531, 1986.

²¹ Breithaupt DE, Sèller P. y Grashorn M.A. Quantification of Carotenoids in chicken plasma after feeding free or esterified lutein and capsanthin using high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-mass spectrometry analysis. *Poultry Sci.* 82: 395-401, 2003.

²² Hamilton P. The use of high-performance liquid chromatography for studying pigmentation. *Poultry Sci.* 71: 718 -724, 1992.

²³ Hencken, H Chemical and physiological behavior of feed carotenoids and their effects on pigmentation. *Poultry Science* 71: 711-717, 1992.

²⁴ Britton, G., Liaaen-Jensen, S. y Pfander, H., *Carotenoids, Vol 3: Biosíntesis*, Birkhauser Verlag Basel, Switzerland, 1998.

²⁵ Tyczkowski, J. y Hamilton P. Evidence for differential absorption of zeacarotene, cryptoxanthin, and lutein in young broiler chickens. *Poultry Science* 65: 1137-1140, 1986.

²⁶ Granado, F.B. Olmedilla, and I. Blanco. Nutritional and clinical relevance of lutein in human health. *Br. J. Nutr.* 90: 487-502, 2003.

²⁷ Zarapheh S y Erdman J. Factors that influence the Bioavailability of Xanthophylls. Symposium: Can Lutein Against Chronic Disease? *Journal Nutrition.* 132: 531S-534S, 2002.

²⁸ Steinberg, W., Grashorn, M., Klünter, A. y Schierle, J. Comparative pigmentation efficiency of two products containing either apo-ester or tagets extracts in eggs yolks. *Arch Geflugelkd* 64:1-8

²⁹ Leeson S. y Caston L. Enrichment of eggs with lutein. *Poultry Sci.* 83: 1709-1712, 2004.

³⁰ Landrum JT y RA Bone. Lutein, zeaxanthin, and the macular pigment. *Arch. Biochem. Biophys.* 385: 28-40, 2001.

³¹ Chung HY, Rasmussen M. y Johnson J. Lutein bioavailability is higher from lutein-enriched eggs than from supplements and spinach in men., *J. Nutr.* 134: 1887-1893, 2004.

³² Handelman, G., Nightingale z., Lichtenstein a., Schaefer E., Blumberg J., Lutein and zeaxanthin concentration in plasma after dietary supplementation with egg yolk. *Am J Clin Nutr* 70:247-251, 1999.

³³ Rojas-Hidalgo, E. *Alteraciones Metabólicas* pp 57-61 Ediciones Aran, Madrid, España, 1987.

³⁴ Bendich A. And Olson J.A. Bs of carotenoids. *FASEB J.* 3:1927-1932, 1989.

³⁵ Rock Cheryl, Thornquist Mark, *et al.* Diet and lifestyle correlates of lutein in the blood and diet. Symposium: Can Lutein Protect Against Chronic Disease? *Journal of Nutrition.* 132:525S-530S, 2002

³⁶ Mares-Perlman Julie, Millen Amy, *et al.* The body of evidence to support a protective role for lutein and zeaxanthin chronic disease. Overview. Symposium: Can Lutein Protect Against Chronic Disease? *Journal of Nutrition.* 132:518S-524S, 2002.

³⁷ Curran Joanne, *et al.* In Vivo assesment of retal carotenoids: macular pigment detection techniques and their impact on monitoring pigment status. Symposium: Can Lutein Protect Against Chronical Disease?. *Journal of Nutrition.* 132:535S-539S, 2002.

³⁸ Krinsky Norman. Possible biologic mechanisms for a protective role of Xanthophylls. Symposium: Can Lutein Protect Against Chronica Disease?. Journal of Nutrition. 132: 540S-542S, 2002.

³⁹ Lutein Information Bureau. www.luteininfo.com fecha de consulta: 6 de Diciembre de 2005.

⁴⁰ Branellec, J., La pigmentación del pollo de carne. Roche Publications,, Switzerland. 1989.

⁴¹ Brufau, J., Yolk – the golden oppotrtnity. Internacional Poultry Production. Vol. 5 No. 4, 1997.

⁴² Becerril, G. M.J.: Evaluación del poder pigmentante de luteína y capsantina en pollos de engorda y gallinas en postura con un colorímetro de reflectancia. Tesis de Maestría. Fac. de Med. Vet. Y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1988.

⁴³ Minolta, Precise color communication. Minolta 1998.

⁴⁴ Fry, J., Hinton, C. Y Harás ,R., Reflectance colrimetric evaluation of egg yolk pigmentation. J. Food Sci. 30: 508-510.

⁴⁵ Curso Teórico-Práctico de Cromatografía de líquidos de alta resolución: HPLC Colegio de Posgraduados – Perkin Elmer de México S.A., Edo. De México, 2005.

⁴⁶ INEGI. Tlahuac. Cuaderno de Información Delegacional INEGI. México,1992.

⁴⁷ Hy- line W- 36, Guía de Manejo 2003 – 2005, Hy – Line International, EUA.

⁴⁸ Isa – Babcock B 380, Guía de Manejo 2003 – 2005, Isa – Babcock Francia.

⁴⁹ Quackenbush, F. W. Corn Carotenoids: Effects Of Temperature And Moisture On Losses During Storage. Journal Cereal of Chemistry 40:266, 1963.

⁵⁰ Oficial Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemist. Carotenes and Xantophylls in dried plant materials and mixed feeds. 43.018. pag.835. AOAC 1984

⁵¹ Norma Mexicana NMX-Y-222-1988. Alimento para animales. Determinación de xantofilas totales en harinas y derivados de Cempasúchil, sin cromatografía.

⁵² SAS version 6.12. Statistical Analysis System, 2000.

⁵³ JMP versión 5.0.1 The Statistical Discovery Software,1989- 2000

⁵⁴ Kuehl R., Diseño de Experimentos., 2ª Edición, Edit. Thomson learning, México, 2001

⁵⁵ Pedrero, FD Y Pangborn, R.M. Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos. Alambra Mexicana, 1989. México.

⁵⁶ Watts, B.M, Ylimaki, G.L., Jeffrey, L.E. y Elias, L.M. métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo, Ottawa, Canadá, 1992,

⁵⁷ García, E. A., et al. Efeito dos Niveis de Cantaxantina na Dieta Sobre o Desempenho e Qualidade dos Ovos de Poedeiras Comerciais. Revista Brasileira de Ciencia Avícola. Jan – Mar 2002, v. 4 n. 1

⁵⁸ Quintana, L. J.A. Avitecnia: manejo de las aves domesticas más comunes. Edit. Trillas, México, 1999.

⁵⁹ Williams, W., Origin and impact of color on consumer preference for food. Poultry science, 71:744-746, 1992.

⁶⁰ Krsmanovic, M., Coloring of egg yolk with synthetic carotenoids. Veterinaria, Yugoslavia, 29: 216-23, 1980.

⁶¹ Angeles M., Scheideler S. Effect of diet, level, and source of xanthophyll on hen performance and egg yolk pigmentation. PSA '98 Anual meeting abstracts pinnstater conference center. (August 2-5), Inc. Official Journal of poultry Science Association, 77;1-18, 1998.

⁶² Halaj, M., *et al.* The effect of synthetic pigment addition to feed on the color of hen egg yolk. Czech journal of animal science, 44: 187-92, 1999.

(ANEXO 1)

NOMBRE _____ PRODUCTO: COLOR DE YEMA
FECHA _____ PRUEBA PARA: COLOR

Indique con una "X" su aceptación al **observar** detenidamente el color de cada yema de huevo que se le presentan a continuación.

MUESTRA NO	SI
185 _____	_____
563 _____	_____
983 _____	_____
318 _____	_____
755 _____	_____
813 _____	_____

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Preferencia de los consumidores en la pigmentación de la yema de huevo en algunos países. Valores del Abanico de DSM®	p. 30 p. 36
Cuadro 2.	Composición de la dieta basal para gallina.	
Cuadro 3.	Análisis Calculado y determinado de Nutrientes.	p. 37
Cuadro 4.	Xantofilas de <i>Tagetes erecta</i> en la Dieta (ppm) por tratamiento	p. 38
Cuadro 5.	Parámetros de Producción en 70 días de experimentación de gallinas Hy-Line W-36	p.46
Cuadro 6.	Parámetros de Producción en 70 días de experimentación de gallinas Isa-Babcock B-380	p. 46
Cuadro 7.	Consumo de Xantofilas totales, luteína y zeaxantina en gallinas Hy-Line W-36.	p. 50
Cuadro 8.	Consumo de Xantofilas totales, luteína y zeaxantina en gallinas Isa-Babcock B-380.	p. 51
Cuadro 9.	Evaluación del color de yema de huevo de gallinas Hy-Line W-36 utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300®.	p. 60
Cuadro 10.	Evaluación del color de yema de huevo de gallinas Isa-Babcock B-380 utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300®.	p. 60
Cuadro 11.	Evaluación de la deposición de Xantofilas totales en 60g de huevo de gallinas Hy-Line W-36.	p. 64

Cuadro 12.	Evaluación de la deposición de Xantofilas totales en 60g de huevo de gallinas Isa-Babcock B 380.	p. 65
Cuadro 13.	Eficiencia de deposito de xantofilas por masa de huevo en huevo de gallinas Hy-line W-36.	p. 67
Cuadro 14.	Eficiencia de deposito de xantofilas por masa de huevo en huevo de gallinas Isa-Babcock B-380	p. 68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.		
Figura 2.	Carotenoide	P. 9
Figura 3.	Molécula de luteína	P. 13
Figura 4.	Molécula de Etil-ester del ácido apocarotenoico	P. 13
Figura 5.	Molécula de Zeaxantina	P. 14
Figura 6.	Molécula de luteína purificada	P. 19
Figura 7.	Molécula de ester de luteína	P. 19
	Representación del color en las escalas a y b del colorímetro MINOLTA CR-300	
Figura 8.	Color de la yema del huevo de gallinas Hy-line con el Abanico DSM	P. 31
Figura 9.	Color de la yema de huevo de gallinas Isa-Babcock B-380 con el abanico DSM	P. 48
Figura 10	Enrojecimiento (a) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Hy-line W-36 utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300	P. 48
Figura 11.	Enrojecimiento (a) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Isa-Babcock B-380 utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300	P. 52
Figura 12	Amarillamiento (b) de la yema de huevo al adicionar xantofilas en dietas de gallinas Hy-line W-36 utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300	P. 52
Figura 13.	Amarillamiento (b) de la yema al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Isa-Babcock B380 utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300	P. 55

Figura 14.	Luminosidad (L) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Hy-line W-36 utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300	P. 57
Figura 15.	Luminosidad (L) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de Isa-Babcock B380 utilizando el colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-300	P. 57
Figura 16	Croma (Intensidad de Color) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Hy-line W-36	P. 59
Figura 17.	Croma (Intensidad de color) de la yema de huevo al adicionar Xantofilas en dietas de gallinas Isa-Babcock B-380	P. 59
Figura 18.	Deposición de Xantofilas totales (mg) en 60g de huevo de gallinas Hy-line W-36	P. 65
Figura 19	Deposición de xantofilas totales (mg) en 60g de huevo de gallinas Isa-Babcock B-380	P. 66
Figura 20.	Prueba de aceptación de color de yema de huevo de gallina Hy-line W-36	P. 69
Figura 21.	Prueba de aceptación de color de yema de huevo de gallina Isa-Babcock B-380	P. 70
Figura 22.	Prueba de aceptación de color de huevo revuelto de gallina Hy-line W-36	P. 71
Figura 23.	Prueba de aceptación de color de yema de huevo revuelto de gallina Isa-Babcock B- 380	P. 71
Figura 24.	Prueba de aceptación de sabor de huevo revuelto de gallina Hy-line W-36	P. 73
Figura 25.	Prueba de aceptación de sabor de huevo revuelto de gallina Isa-Babcock - 380	P. 74

Figura 26.	Prueba de preferencia de color de yema de huevo.	P. 75
Figura 27.	Prueba de preferencia de color de huevo revuelto.	P. 76
Figura 28.	Prueba de preferencia de sabor de huevo revuelto	P. 77