



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



**EFFECTO DE NIVELES DE APO-ÉSTER Y CANTAXANTINA EN
DIETAS DE GALLINAS, SOBRE LA COLORACIÓN DE LA YEMA
DEL HUEVO Y LA PREFERENCIA DEL CONSUMIDOR.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA

MONTOYA GÓMEZ VIRIDIANA

Asesores:

Dr. CORTES CUEVAS ARTURO

MSc. ÁVILA GONZÁLEZ ERNESTO

México, D. F.

2015



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

“Let food be your medicine and medicine be your food”

-Hipócrates

A mis ángeles entrañables que siempre me acompañan.
Con amor, veneración, respeto y admiración a mis padres y hermanos.

Gracias por creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por formarme académicamente y por la oportunidad que me brindaron de decir orgullosamente “soy azul y oro de corazón”.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola por su valiosa enseñanza que es sostén en mi formación académica, por permitirme formar parte de su equipo, pero más agradezco a todo el personal académico y a mis compañeros por su invaluable apoyo y gratos momentos que me brindaron.

Al MSc. Ernesto Ávila González y al Dr. Arturo Cortes Cuevas, quienes a través de sus conocimientos me han llevado a decidir el ramo por el que seguiré mi vida y mediante su apoyo en todo momento, tolerancia y paciencia han hecho fácil lo difícil permitiéndome llegar al final de mi camino en esta facultad. A ambos gracias de todo corazón, son un ejemplo a seguir.

A DSM Animal Nutrición and Health, en particular al Dr. Sergio Fernández Tinoco y al Ingeniero Silvestre Charraga quienes me apoyaron en este trabajo de investigación, respondiendo todas y cada una de mis dudas y que además fomentan en mi la necesidad de seguir esforzándome.

A todo el departamento de Nutrición Animal del I.N.C.M.N.S.Z. y en especial a la Dra. Silvia Carrillo quien no dudo en compartir su conocimiento, resolviendo mis dudas y ayudándome a entender el vasto mundo de las pruebas sensoriales.

A mí jurado los Dres. Juan Manuel Cervantes Sánchez, Cuauhtémoc Nava Cuellar y Jorge Miguel Iriarte, por el interés, motivación, apoyo y crítica, necesarios para la realización de este trabajo.

A la Dra. María del Pilar Castañeda Serrano por la lectura minuciosa del manuscrito, las sugerencias y críticas constructivas que hicieron de este un mejor trabajo. Pero sobre todo gracias compartir su tiempo y sentarse a mi lado para brindarme su conocimiento de una manera sencilla y por su sostenido apoyo moral.

Al M.V.Z. Francisco Javier Tirado Almendra y al Dr. Benjamín Fuente quienes siempre me proporcionan su apoyo desinteresado, orientación, ayuda incondicional y sobre todo por esos consejos y lecciones de vida que me dan día a día, ha sido un placer contar con ustedes y saber que hoy son parte importante de mi vida, no solo como maestros sino como AMIGOS.

A mis compañeros y grades amigos del C.E.I.E.P.Av. (Diego, Diana, Lili, Sam, Erick, y a mi hermana Vilma) que me ayudaron y me brindaron risas a toda hora haciendo el tiempo más corto durante mi estancia y al M.V.Z David que firmo su sentencia eterna, al ser mi primer maestro, quien me brinda su apoyo, conocimiento a cualquier hora del día y amistad. Es un placer tenerlos en mi vida pollitos.

A todos y cada uno de mis amigos, a quienes es difícil mencionar uno por uno, pero sabes que hablo de ¡TI!, de quienes he recibido el hermoso e invaluable tesoro de la amistad quienes me han brindado sus enseñanzas, su comprensión y cariño y que a pesar de todo creen en mí.

A Rodrigo por el apoyo, la comprensión y sobre todo por hacerme ver la vida siempre desde un ángulo diferente. Somos el mejor equipo.

Gracias a aquellas personas que de alguna manera me han influenciado y ayudado a alcanzar este objetivo, el cual es uno de los logros más grandes de mi vida.

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Situación actual.	2
1.2 Importancia del pigmento en la industria avícola.....	3
1.3 Pigmentación en yema de huevo.	4
1.4 Carotenoides.	5
1.5 Clasificación de los carotenoides.	6
1.6 Metabolismo, transporte y depósito de los carotenoides.	8
1.7 Función de los carotenoides.	10
1.8 Fuentes de pigmento utilizadas en la industria avícola.....	13
1.8.1 Naturales.	14
1.8.2 Sintéticos.	14
1.9. Apo-éster	15
1.10 Cantaxantina.	16
1.11 Evaluación del color y análisis de pigmentos.	18
1.11.1 Métodos directos.	18
1.11.2 Métodos indirectos.	22
1.12 Factores que afectan la pigmentación.....	23
1.12.1 Relacionados a la zona geográfica	23
1.12.2 Relacionados al pigmento	24
1.12.3 Relacionados al procesamiento de la dieta.....	28
1.12.4 Relacionados al manejo de las aves.....	29
1.12.5 Relacionados con las aves.....	29
1.13 Evaluación sensorial.	32
1.13.1 Mecanismos de percepción sensorial.	32
1.13.2 El sabor y el sentido del gusto.	33
1.13.3 El color y el sentido de la vista.	33
1.13.4 Métodos de medición.	34
2. JUSTIFICACIÓN	35
3. HIPÓTESIS.....	36

4. OBJETIVOS	37
4.1 Objetivo general.....	37
4.2 Objetivos especificos.....	37
5. MATERIAL Y MÉTODOS	38
6. RESULTADOS	44
7. DISCUSIÓN	48
8. CONCLUSIONES.....	54
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
10. CUADROS	66
11. FIGURAS	72

RESUMEN

MONTOYA GÓMEZ VIRIDIANA: EFECTO DE NIVELES DE APO-ÉSTER Y CANTAXANTINA EN DIETAS DE GALLINAS, SOBRE LA COLORACIÓN DE LA YEMA DEL HUEVO Y LA PREFERENCIA DEL CONSUMIDOR. (Bajo la dirección de Dr. Cortes Cuevas Arturo y del MSc. Ávila González Ernesto).

Para evaluar la inclusión de apo-éster y cantaxantina, en dietas para gallinas Bovans Blanca sobre el comportamiento productivo, pigmentación de la yema y preferencia, se realizó este estudio. Se utilizaron 144 gallinas de 30 semanas de edad, en un diseño completamente al azar, de 4 tratamientos con 3 repeticiones de 12 gallinas cada una. Los tratamientos fueron: Dieta basal sorgo-soya con las inclusiones de apo-éster/cantaxantina; 1) 2.5ppm/1ppm, 2) 3ppm/2ppm, 3) 3.5ppm/3.5ppm y 4) 4ppm/5ppm. Se registraron datos de producción y calidad del huevo. También, se midió la pigmentación de la yema, visualmente y con colorímetro de reflectancia. Además, pruebas sensoriales en huevo en diferentes formas de consumo. Los datos, se sometieron a análisis de varianza, regresión y prueba no paramétrica (Friedman). Los resultados en 70 días de parámetros productivos y calidad del huevo, no indicaron diferencia ($P > 0.05$) entre tratamientos. El color visual de la yema evaluado con el abanico de DSM, se estabilizó a los 21 días ($P < 0.05$). La adición creciente de apo-éster y cantaxantina en la dieta, resultó en mayor ($P < 0.01$) coloración visual (10, 11, 13 y 14 para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente). Con 157 personas, la evaluación del color de la yema en huevo fresco indicó mayor preferencia ($P < 0.05$) para el tratamiento 3 (color 13), mayor preferencia ($P < 0.05$) en el tratamiento 2 (color 11) para el huevo revuelto y el tratamiento 3 (color 13) para el huevo cocido y estrellado. Existió dentro del rango estudiado, mayor preferencia del color visual (13) de la yema en huevo fresco, revuelto, estrellado y cocido con 3.5ppm de apo-éster + 3.5ppm de cantaxantina.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Situación actual.

México ocupa el onceavo lugar dentro de los países más poblados del mundo, tan solo en 60 años su población ha aumentado 5 veces, actualmente existen 112 millones de habitantes, de los cuales solamente el 43% se encuentra dentro de la población económicamente activa (P.E.A.) percibiendo un salario mínimo general promedio de \$65.68 MN, resultando en un escaso poder adquisitivo para cubrir necesidades básicas, entre ellas la alimentación (I.N.E.G.I., 2010; I.N.E.G.I., 2014; C.O.N.A.S.A.M.I., 2014).

La mayor parte de la proteína animal consumida por el mexicano proviene de productos avícolas, que se han colocado en alta estima por su bajo costo, su excelente calidad y valor nutricional. El huevo es uno de los alimentos más completos de la dieta humana, debido a que es una fuente rica y bien balanceada de aminoácidos esenciales, vitaminas, minerales, ácidos grasos y proteínas de excelente valor biológico, algunos constituyentes son sensitivos a la manipulación a través de la dieta de las gallinas (Surai y Sparks, 2001; Alonso et al., 2006; Sparks , 2006; Nimalaratne et al., 2013).

A lo largo de los años la industria avícola ha logrado consolidarse como la actividad pecuaria más importante de México, representando el 63% de la Producción Pecuaria del país (2014), con una tasa de crecimiento media anual del 2.9% (U.N.A., 2015).

La producción de huevo en México en el 2014 fue de 2,571,270 toneladas, ubicándolo como el quinto productor de huevo a nivel mundial y ocupando el primer lugar a nivel mundial en consumo per-cápita de huevo, con 22kg, aumentando 32% en 20 años. El 79% de la producción nacional se encuentra concentrado en 3 estados (Jalisco 55%, Puebla 16%, Sonora 8%), la región de La Laguna y los estados Yucatán, Sinaloa, Nuevo León y Guanajuato representan el

16% y el resto del territorio nacional el 5%, aportando más de 1,197 000 fuentes de trabajo para los mexicanos (U.N.A.,2015).

Sin embargo, actualmente existe una barrera en el consumo del huevo debido a que se le ha asociado con enfermedades cardiovasculares que han sido desmitificadas en investigaciones actuales comprobando que el consumo de huevo no contribuye a arteriosclerosis ni a riesgo de enfermedad cardíaca (Surai y Sparks, 2001; Sparks , 2006).

1.2 Importancia del pigmento en la industria avícola.

La pigmentación de los productos avícolas es de gran importancia debido a que la cría y producción de las aves se realiza en confinamiento, evitando el libre acceso a vegetales verdes ricos en xantofilas. Hoy en día se puede reemplazar el uso del maíz en las dietas de aves debido al gran valor que representa para el consumo humano sustituyéndolo por ingredientes como el sorgo, el cual es deficiente en carotenoides o xantofilas, razón por la cual las dietas formuladas para las gallinas de postura y pollo de engorda deben incluir ingredientes que contengan xantofilas naturales o pigmentos sintéticos para mantener un grado adecuado de pigmentación representando un costo extra en la producción 8-10% del costo de la dieta dependiendo de la economía nacional y mundial (Bronstein y Bartov 1966; Scott et al., 1968; Huyghebaert, 1989; Nelson et al., 1990; Tirado, 1991; Cuca et al., 2009; Antoniol et al., 2009; Muñoz et al., 2012; Amaya et al., 2014; Nogareda et al., 2015).

Para establecer el color de la yema en un mercado específico, se debe de identificar visualmente de acuerdo al abanico colorimétrico de DSM, teniendo este conocimiento se procederá a utilizar la cantidad de pigmento necesaria para llegar al color deseado y emplear el método adecuado para evaluar la coloración y finalmente realizar encuestas al consumidor sobre preferencia y aceptación del color (Fletcher, 1992; Beardsworth y Hernández, 2004; Fernández, 2010; Amaya et al., 2014).

1.3 Pigmentación en yema de huevo.

La pigmentación amarillo-naranja de la yema del huevo, reviste especial importancia debido a que psicológicamente el público consumidor se siente atraído por el color, ya que lo asocia con un mejor estado de salud del animal así como a la calidad del producto (Tirado, 1991; Garcia et al., 2002; Martínez et al., 2004; Cuca et al., 2009; Tarique et al., 2013; Bovsková et al., 2014).

De acuerdo a los atributos de apariencia del huevo como textura, forma, tamaño, apariencia visual y sensorial, el color de la yema es la característica más importante que determina la preferencia para ser aceptado o rechazado. Desde etapas tempranas, el individuo asocia el color con el sabor del huevo; inclusive ha sido demostrado que un cambio radical en el color, aunque no esté acompañado de un cambio en el sabor, puede hacer completamente inaceptable el producto. Los colores luminosos estimulan el apetito y realzan la experiencia placentera, un alimento que no es atractivo visualmente no sabrá bien, preferencia que se basa solamente en la apariencia del producto ya que no necesariamente el color refleja el aporte nutricional ni el sabor de los alimentos (Fletcher, 1977; William, 1992; Martínez et al., 2004; Baker y Gunther, 2004; Beardsworth y Hernández, 2004; Ofosu et al., 2010).

En algunos nichos del mercado mundial, la gente demanda ciertos grados de coloración en la yema del huevo, resultando difícil ignorar estas costumbres culturales y tradiciones arraigadas. Las preferencias del consumidor, están tan establecidas que están dispuestos a pagar precios elevados por productos más pigmentados (Tirado, 1991; William, 1992; Martínez et al., 2004; Beardsworth y Hernández, 2004; Castañeda et al., 2005).

La pigmentación profunda (amarillo–naranja) en la yema de huevo, tiene un mayor mercado (Hernandez et al., 2005), representando un problema de importancia económica dentro del sector avícola de algunos países, como México, debido a

que la preferencia en cuanto a color e intensidad varía incluso entre zonas del país.

Para respaldar esta aseveración se puede mencionar la preferencia que tiene el público mexicano, aún en la actualidad por el huevo de rancho debido a que la coloración de su yema proviene de una dieta muy variada y rica en carotenoides (Scott et al., 1968; Nelson et al., 1990; Beardsworth y Hernández, 2004; Castañeda et al., 2005; Cuca et al., 2009).

La uniformidad de la pigmentación es tan importante como la pigmentación absoluta de la yema de huevo, los colores homogéneos dentro de un paquete de huevos, indican consistencia de la buena calidad del producto, mientras que las diferencias, se relacionan con productos menos deseables e incluso defectuosos (Fletcher , 1992; William, 1992; Beardsworth y Hernández, 2004; Baker & Gunther, 2004; Hernandez et al., 2005).

El color de la yema es un criterio que se debe de cuidar debido a la importancia dentro de la industria de alimentos, que demandan yemas altamente pigmentadas con una concentración alta de carotenoides para la fabricación de productos hechos a base de huevo (ovoproductos) para hacerlos más atractivos para los consumidores (Nelson et al., 1990; Fletcher , 1992; Galobart et al., 2004; Sirri et al., 2007; Amaya et al., 2014).

1.4 Carotenoides.

Los carotenoides son una clase natural de pigmentos liposolubles ampliamente distribuidos en la naturaleza, más de 750 carotenoides han sido identificados. Son sintetizados por plantas, algas, hongos y bacterias fotosintéticas, jugando un papel muy importante en la coloración de diversas plantas (flores, frutos, raíces y semillas), invertebrados, peces, anfibios, reptiles y aves, además de otras funciones que se explican más adelante (Szabolcs, 1989; Koutsos et al., 2003; Fernández, 2010; Carranco et al., 2011; Tarique et al., 2013; Amaya et al., 2014).

Químicamente la mayoría de los carotenoides son tetraterpenos compuestos de 40 átomos de carbono y ocho unidades isopreno, su estructura básica es lineal, simétrica e invertida en el centro. Poseen un extenso sistema de dobles enlaces conjugados (sistema d.e.c.), denominado cadena poliénica, esta parte de la molécula es conocida como cromóforo y es el responsable de la capacidad de los carotenoides para absorber luz y en consecuencia de su capacidad de coloración (Marusich y Bauernfeind, 1981; Pérez-Vendrell et al., 2001; Liaaen-Jensen, 2004; Meléndez et al., 2007; Carranco et al., 2011; Camarinha et al., 2011; Zahroojian et al., 2011; Sandeski, 2013).

Cuando estos dobles enlaces en la molécula cambian de lugar se le conoce como isomerización, obteniendo isómeros cis y trans haciendo la molécula diferente en cuanto a solubilidad, estabilidad y características ultravioletas dándole implicaciones en las propiedades para pigmentar. Todos los carotenoides usados para la pigmentación presentan una configuración trans, debido a su estabilidad y su tonalidad rojiza (Hencken , 1992; Liaaen-Jensen, 2004; Amaya et al., 2014).

1.5 Clasificación de los carotenoides.

A lo largo de muchos años, los autores han creado diferentes clasificaciones de los carotenoides dependiendo su estructura química, función química etc. Dichas clasificaciones se encuentran en la Figura 1 adaptado de varios autores.



Figura 1. Clasificación de los carotenoides.

Los carotenoides se pueden encontrar en forma libre o esterificada con una variedad de ácidos grasos orgánicos como palmítico, linoleico y esteárico. Las formas éster son más estables y resisten más a la oxidación. Sin embargo, son menos biodisponibles ya que no se absorben bien a través del epitelio intestinal (Meléndez et al., 2007; Amaya et al., 2014).

1.6 Metabolismo, transporte y depósito de los carotenoides.

Los carotenoides al ser sustancias liposolubles siguen la ruta de la digestión lipídica. Tras haberse liberado de la matriz del alimento, los carotenoides son hidrolizados en el intestino delgado (duodeno y parte proximal del yeyuno) y son incorporados a micelas lipídicas junto a algunos fosfolípidos y ácidos grasos para ser absorbidos mediante difusión pasiva (insaturable), a través de las membranas del intestino. En caso de haber hipovitaminosis A, el β -caroteno y algunos carotenoides precursores de vitamina A serán parcialmente convertidos en ésteres de retinol perdiendo sus propiedades pigmentantes (Fernández, 2000; Breithaupt et al., 2003; Krinsky y Johnson , 2005; Cortés, 2005; Johnson y Krover , 2010; Henry & Darly, 2011).

Una vez dentro del enterocito, los carotenoides se reesterifican nuevamente y se unen con las lipoproteínas de alta densidad (HDL por sus siglas en Inglés) que transportan aproximadamente 90% de los carotenoides (xantofilas), mientras que las lipoproteínas de baja densidad (LDL por sus siglas en Inglés) transportan alrededor del 10%, fundamentalmente los carotenos. Ambas lipoproteínas ligan a los carotenoides con la alipoproteína A-1, que tiene la función de transportarlos por la vía sanguínea (debido a que las aves carecen de sistema linfático, se transporta por el sistema porta) al hígado (Surai et al., 2001; Bortolotti et al., 2003; Melendez et al., 2004; Krinsky y Johnson , 2005; Cortés, 2005).

El hígado en condiciones normales retiene las xantofilas en forma libre y muy poco esterificadas. Utiliza muy pocas de ellas para su propio metabolismo y en general reintegra a la circulación las mismas lipoproteínas transportadoras para enviarlas a los tejidos blanco (Cortés, 2005).

La yema de huevo es un material con excelente eficiencia para la deposición de pigmentos, estos se absorben casi en su totalidad brindando una estabilidad alta. Existen dos fases (Figura 2), en la pigmentación de la yema de huevo para asegurar el color amarillo-naranja demandado por el consumidor logrando un equilibrio económico: (Balnave y Bird, 1996; Fletcher , 1992; Beardsworth y Hernández, 2004; Fernández, 2010; Zahroojian et al., 2011; Amaya et al., 2014; DSM Nutritional Products, 2014)

1. Saturación: deposición de una base amarilla de carotenoides logrando una saturación visual (aproximadamente un valor 7 en la escala de abanico de color de yema-DSM).
2. Coloración: una vez que la base de coloración amarilla está establecida, se le adiciona un carotenoide rojo para virar la coloración a un amarillo-naranja.

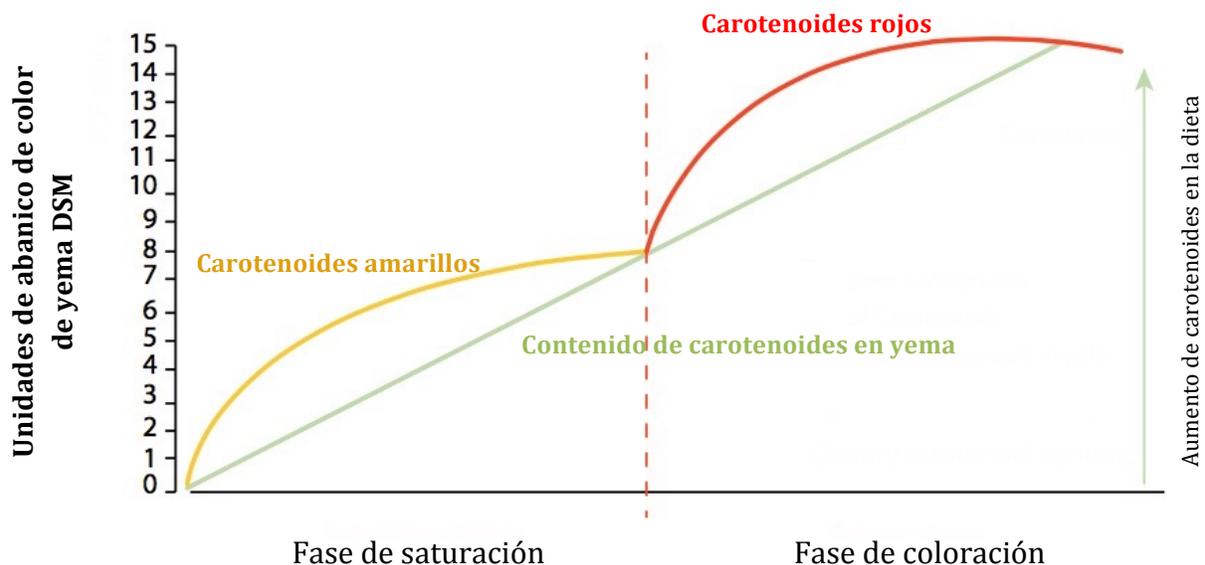


Figura 2. Fases de la pigmentación en yema de huevo.

Adaptado de Amaya et al. (2014).

El crecimiento de un óvulo requiere de aproximadamente 10 días para su madurez y el pigmento adicionado en la dieta tardará 21 días en estabilizarse, durante este tiempo las xantofilas guardadas en los tejidos del ave (piel y tarsos) son movilizadas independientemente de la postura, dándonos un sistema confiable para verificar a las buenas ponedoras que presentarán tarsos y piel pálidas, debido a que los carotenoides se concentran en la yema de huevo (Nelson et al., 1990; Fernández, 2010).

La eficiencia de los carotenoides en cuanto a su digestibilidad, absorción, metabolismo y deposición dependerá de la estructura química, isomerización, presentación de los carotenoides (libres o esterificados), tipo de grasa presente en la dieta, además de varios factores que se explican más adelante (Hencken , 1992; Breithaupt et al., 2003; Englmaierová et al., 2013).

1.7 Función de los carotenoides.

- **Fotosíntesis:** Los carotenoides son esenciales para la sobrevivencia de organismos fotosintéticos, debido a que absorben luz y transfieren energía, además protegen del daño causado por la foto-destrucción y la oxidación (Meléndez et al., 2007; Ofosu et al., 2010; Weber et al., 2013; Amaya et al., 2014).

- **Pigmentación:** Los carotenoides son moléculas que absorben energía luminosa y emiten diferentes ondas de luz en un espectro visible, lo que percibimos como color, el cual juega un papel importante dentro de la naturaleza. En plantas, frutos y flores favorecen la polinización y dispersión de semillas.

- En los animales, los carotenoides son incorporados a través de la dieta y forman parte de piel, plumas, exoesqueletos en crustáceos, tejido muscular y piel en peces y reptiles, brindando camuflaje como parte de su sistema de defensa. Particularmente en aves y peces la pigmentación afecta la atracción sexual y el desarrollo de la progenie (Koutsos et al., 2003;

Meléndez et al., 2007; Fernández, 2010; Ofosu et al., 2010; Carranco et al., 2011; Cisneros , 2012; Amaya et al., 2014).

- **Precursores en la síntesis de Vitamina A:** Los animales no son capaces de sintetizar vitamina A que es esencial para la visión, reproducción, resistencia a varias infecciones (bacterianas y fungales), desarrollo normal de piel y mucosas. Aproximadamente 50 carotenoides son precursores de la vitamina A, esta capacidad depende de la presencia de por lo menos un anillo de β -ionona para que puedan convertirse en retinol. Algunos carotenoides son α , β y γ -caroteno, β -criptoxantina y β -apo-8'-carotenal (Hencken , 1992; Breithaupt et al., 2003; Khachik, 2005; Ofosu et al., 2010; Carranco et al., 2011; Amaya et al., 2014; Islam y Schweigert, 2015).

- **Antioxidante:** Los carotenoides son antioxidantes por excelencia (habilidad dependiente de estructura, propiedades químicas, localización y forma en los tejidos), retrasan y previenen la oxidación de las células provocado por radicales libres y por especies reactivas de oxígeno que dañan a los lípidos insaturados de la membrana celular. Algunos carotenoides con función antioxidante son: astaxantina, cantaxantina, β -caroteno, luteína etc. (Cheng et al., 2001; Krinsky, 2001; Carranco et al., 2011; Rosa et al., 2012a; Weber et al., 2013; Amaya et al., 2014).

- En humanos: Se ha comprobado en varios estudios que la yema de huevo provee altos niveles de xantofilas, los cuales tienen varias implicaciones dentro de la salud debido a que previene enfermedades crónicas y potencializa el sistema inmune reduciendo el riesgo de enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas y degeneración macular asociada a la edad, debido a su propiedad antioxidante (Baker y Gunther, 2004; Krinsky y Johnson , 2005; Meléndez et al., 2007; Ofosu et al., 2010; Carranco et al., 2011; Englmaierová et al., 2013; Santos-Bocanegra et al., 2004; Amaya et al., 2014).
- En aves: Los carotenoides tienen un efecto benéfico en la maduración de espermatozoides debido a su efecto antioxidante que reduce la oxidación

lipídica y por ende aumenta la fertilidad. Las altas concentraciones de niveles de carotenoides como la cantaxantina en dietas de reproductoras, aumenta la incubabilidad del huevo ya que los carotenoides se transfieren de la yema de huevo al embrión protegiendo los tejidos del ave por su efecto antioxidante, esta protección permite un óptimo desarrollo del embrión y asegura un buen nivel de supervivencia tras la eclosión (Breithaupt et al., 2003; Ofosu et al., 2010; Rosa et al., 2012; Weber et al., 2013; Amaya et al., 2014).

Johnson y Krover (2010) demostraron que los huevos que contienen cantaxantina, poseen una capacidad antioxidante superior además de que los pollitos presentan una mayor capacidad bactericida por parte de los macrófagos.

Rosa et al. (2012) evaluaron los efectos de la suplementación de cantaxantina sobre los parámetros productivos y reproductivos de las gallinas, reportando que los parámetros productivos no fueron afectados pero si se incrementaron los porcentajes de fertilidad e incubabilidad reduciendo la mortalidad embrionaria.

- **Inmunomoduladores:** Los carotenoides se encuentran en tejidos inmunes y linfocitos T mejorando la inmunidad innata, humoral y celular en aves y humanos, ayudando a mantener la fluidez de la membrana que es esencial para la función inmune. En aves, se ha comprobado que la alimentación con carotenoides (luteína, cantaxantina y β -caroteno) favorece la presentación de altos niveles de carotenoides en bolsa de Fabricio y en timo, así como mayores títulos contra antígenos y el incremento de células T y macrófagos en procesos de inflamación (Meléndez et al., 2007; Ofosu et al., 2010; Rosa et al., 2012; Cisneros , 2012; Sandeski, 2013; Weber et al., 2013; Amaya et al., 2014).

Cheng et al. (2001) alimentaron gallos con β -caroteno y cantaxantina, obteniendo títulos más altos en respuesta a la vacuna contra la enfermedad de Newcastle.

1.8 Fuentes de pigmento utilizadas en la industria avícola.

Como ya se había mencionado las aves solo pueden metabolizar carotenoides, pero son incapaces de sintetizar de *novo*, por lo tanto la industria avícola requiere de suplementar pigmentos en la dieta, debido a esto la investigación de productos pigmentantes se encuentra siempre en constante cambio para buscar mejores alternativas que sean efectivas en cuanto a absorción, deposición y que sean de bajo costo (Hernandez et al., 2005; Sirri et al., 2007; Nimalaratne et al., 2012; Amaya et al., 2014).

A continuación se mencionan las diferentes fuentes naturales y sintéticas que actualmente se utilizan para la pigmentación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de xantofilas de algunas fuentes naturales y artificiales.

Ingrediente	Contenido de xantofilas (mg/kg de base seca)
Alfalfa deshidratada (20% de Proteína cruda)	400 - 450
Maíz amarillo	20 - 25
Gluten de maíz amarillo	180-250
Flor de cempasúchil	6,000 - 10,000
Extracto Saponificado de cempasúchil	12,000 - 40,000
Extracto Saponificado de Chile	2,500 - 8,000
Etil éster del ácido β -apo-8' carotenoico	100,000
Cantaxantina	100,000

Adaptado de Cuca et al. (2009).

1.8.1 Naturales.

La flor de cempasúchil (*Tagetes spp*) es originaria y cultivada en diferentes zonas de México, donde existen más de 175 variedades nativas, de las cuales sólo *Tagetes erecta* se utiliza para la pigmentación amarilla de productos avícolas. En la actualidad, se emplean principalmente extractos hidrolizados de xantofilas de la flor de cempasúchil como fuente de pigmento, ya que estos extractos tienen mayor actividad biológica que la harina de la flor natural. En cuanto a la pigmentación roja, se emplea el chile rojo (*Capsicum annuum*). Algunos otros ingredientes utilizados son el maíz, alfalfa deshidratada, algas, axiote etc. (Marusich y Bauernfeind, 1981; Martínez et al., 2004; Cuca et al., 2009; Rosa et al., 2012; Tarique et al., 2013).

El contenido de oxicarotenoides de las fuentes naturales fluctúa ampliamente dependiendo de su variedad genética, factores de cultivo y recolección, procesamiento, conservación etc. (Huyghebaert, 1989; Tirado, 1991).

1.8.2 Sintéticos.

Son productos de síntesis química que inician a partir de moléculas como la β -ionona (proveniente del citral, constituyente del aceite del limón) o a partir del acetileno o de la acetona. Los pigmentos sintéticos tienen una alta concentración, mínima variación, estabilidad, respuesta lineal progresiva (resultados predecibles a medida que se aumenta la dosis). Como desventajas, los pigmentos sintéticos no son permitidos en la producción orgánica debido a que van en contra de la corriente naturista y además presenta un costo elevado por unidad de medida, pero en cuanto a la inclusión en las dietas, por su eficacia representa un costo menor al ser adicionados en menor cantidad (Klaur y Bauernfeind, 1981; Huyghebaert, 1989; Tirado, 1991; Englmaierová et al., 2013).

En la literatura se menciona que es posible producir un color de yema conforme a las tonalidades del abanico DSM, mezclando xantofilas sintéticas como el apo-

éster y la cantaxantina se puede alcanzar un mayor color amarillo-naranja a un menor costo (Papa y Fletcher , 1985; Castañeda et al., 2005; Amaya et al., 2014).

Otros oxicarotenoides que han sido sintetizados en forma pura cristalizada son la luteína, criptoxantina, astaxantina, licopeno, bixina, citranaxantina etc. (Huyghebaert, 1989; Amaya et al., 2014).

Los carotenoides sintéticos son secados a presión de aire en los materiales de matriz estabilizados (antioxidantes) y después son cubiertos. Usualmente se formulan a una concentración de 10% y se comercializan en polvo o esferas (Amaya et al., 2014).

1.9 Apo-éster.

El apo-éster (Etil éster del ácido β -apo-8' carotenoico), es un pigmento sintético amarillo-anaranjado conocido en el mercado como Carophyll® amarillo, obtenido por síntesis química del apocaroteno, aunque también se puede aislar del maíz, plantas verdes y frutas cítricas (Figura 3), es un precursor de la vitamina A (Marusich y Bauernfeind, 1981; Garcia et al., 2002; Sirri et al., 2007; Muñoz et al., 2012; Amaya et al., 2014).

- **Proceso de elaboración:** La molécula inicial es una pseudo-ionona posteriormente se adiciona un agente Grignard para obtener el compuesto dehidroaldehido, tras este proceso se somete a hidrogenación con éter etílico dando como resultado el éster apocarotenoico, que después es microencapsulado (Tirado, 1991).

A pesar de su alto costo, el apo-éster sigue siendo el pigmento amarillo más utilizado a nivel mundial debido a que posee una alta capacidad pigmentante y una eficiencia de pigmentación de al menos tres veces mayor que las xantofilas amarillas naturales (*Tagetes erecta*) además de su resistencia a la oxidación (Sirri et al., 2007; Ofosu et al., 2010).

Guenthner et al. (1973) realizaron la comparación de las propiedades pigmentantes de pétalos de flor de cempasúchil, alfalfa, β -apo 8'carotenal y etil éster β -apo 8' ácido carotenico (apo-éster), comprobando que el último fue el pigmentante más efectivo, 77% más que la alfalfa y el β -apo 8'carotenal.

Por otra parte Aureli et al. (2013) compararon la efectividad del apo-éster contra dos productos comerciales que contienen altas concentraciones de zeaxantina. Los resultados demuestran que el incremento de carotenoides en la dieta intensifica la pigmentación de la yema de huevo, siendo más evidente con el uso de apo-éster. La eficiencia de transferencia relativa de alimento a yema de huevo y la eficiencia pigmentante de apo-éster y las xantofilas de *Tagetes erecta* en este estudio fue de al menos 4:1.

El criterio principal para los carotenoides amarillos, es proveer una base amarilla fuerte, ya que de lo contrario una base amarilla débil proporciona una gran variabilidad en el color que va desde el tono rosado al rojizo (Beardsworth y Hernández, 2004; Hernandez et al., 2005; Antoniol et al., 2009)

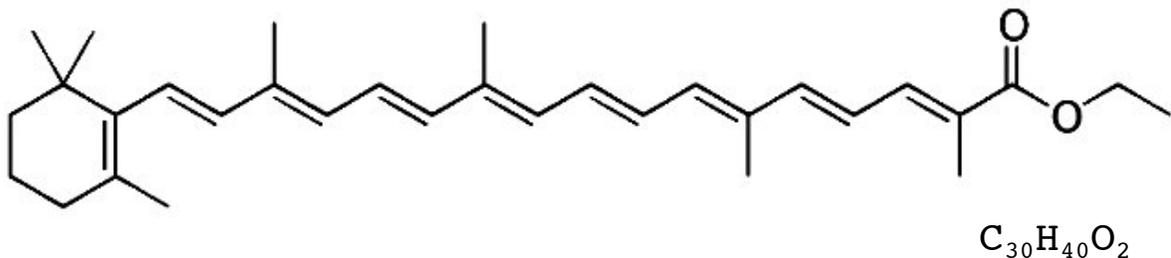


Figura 3. Estructura química del apo-éster.
Tomado de Straub (1987).

1.10 Cantaxantina.

La cantaxantina (4,4'-diceto- α -caroteno), es un pigmento sintético rojo-anaranjado precursor de la vitamina A (Hencken , 1992). Es el carotenoide responsable de la coloración rosácea de los flamencos y de otras especies de aves, crustáceos e

insectos. Esta xantofila existe naturalmente en crustáceos, hongos (*Cantharellus cinnabarinus*) y algas, pero no se conocen fuentes para su extracción, por lo que toda la producción se realiza sintéticamente y es conocido en el mercado bajo el nombre de Carophyll® rojo (Figura 4) (Marusich y Bauernfeind, 1981; Cortés, 1998; Garcia et al., 2002; Beardsworth y Hernández, 2004; Antoniol et al., 2009; Amaya et al., 2014).

-Proceso de elaboración: Se obtiene a partir de la hidrólisis del β -caroteno el cual sufre un proceso de oxidación, una vez obtenido se procede a la micro encapsulación (Tirado, 1991).

Su uso en la alimentación de las aves, es de gran importancia debido a sus altas propiedades antioxidantes y su eficiente pigmentación que extiende la longitud de onda de la yema de huevo virando de un color amarillo a amarillo-naranja realzando significativamente la escala de pigmentación de una manera más económica (Hamilton, 1992; Garcia et al., 2002; Antoniol et al., 2009; Tarique et al., 2013).

En comparación con los pigmentos rojos naturales, la eficiencia de deposición de cantaxantina es 2.8 veces mayor que la capsantina (Garcia et al., 2002; Beardsworth y Hernández, 2004; Antoniol et al., 2009). En gallinas productoras de huevo para plato el 30-45% de cantaxantina administrada en el alimento es depositada de manera eficiente en la yema (Hencken , 1992; Weber et al., 2013).

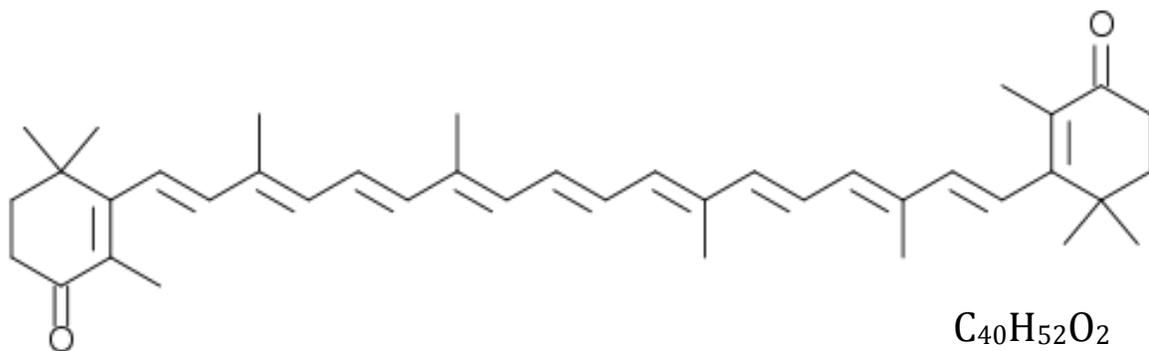


Figura 4. Estructura química de la cantaxantina
Tomado de Straub (1987).

Vidal et al. (1990) estudiaron el efecto de la capsantina libre con respecto a la cantaxantina para enrojecer la yema de huevo, con ambos ingredientes se mostró un aumento en la coloración roja a medida que se incrementan los niveles de ambas xantofilas, siendo mayor el efecto con cantaxantina.

1.11 Evaluación del color y análisis de pigmentos.

El análisis de pigmentos y la evaluación de color son conceptos diferentes que usualmente se les emplea como sinónimos (Becerril , 1988). La pigmentación, se define como la deposición de un pigmento que puede afectar la propiedad de reflejar la luz y por lo tanto alterar el color de un objeto. El color es la propiedad, en términos de cómo la luz es reflejada por este objeto y es emitida por la superficie como ondas de diferentes longitudes (Fletcher , 1992; Konica Minolta, 2007). A lo largo del tiempo, se han desarrollado y utilizado varios métodos para evaluar la pigmentación de la yema de huevo. La selección va en función del objetivo final de la medición, ya que hay procedimientos que se encargan de describir el color final del producto (apariencia), mientras que otros describen la deposición de pigmento y la absorción del mismo (xantofilas del suero); así como, las propiedades potenciales pigmentantes de un alimento o un ingrediente específico (Fletcher, 1984; Fletcher , 1992).

Los métodos de evaluación del color y la pigmentación de productos avícolas son:

1.11.1 Métodos directos.

Consisten en la evaluación directa del color de la yema del huevo, los métodos que se utilizan son (Fletcher, 1977):

- **Abanicos de color de yema:** (DSM®, Alcosa®, BASF®, Kemin®, Purina®, Prodemex®) (Tirado, 1991) es un método subjetivo que utiliza el ojo humano para evaluar el color, comparando la yema de huevo con patrones de color pre-

establecidos, brindando una puntuación visual a través de escalas numéricas (Bornstein y Bartov, 1966; Marusich y Bauernfeind, 1981; Karunajeewa, 1984; Becerril , 1988; Fletcher , 1992; Martínez et al., 2004; Hernandez et al., 2005; Hernández, 2014).

En el 2003, el abanico Roche® se cambió por el nombre de abanico de DSM® de color de yema de huevo (Fletcher , 1992; Hernández, 2014), este es ampliamente aceptado como un método estándar rutinario y confiable para la medición del color de la yema a nivel de campo. Las escalas de color del abanico van del 1 al 15 con tonalidades desde el amarillo pálido al naranja intenso, colores que han sido medidos objetivamente y que pueden reproducirse constantemente en la yema de huevo, utilizando una adecuada formulación de la dieta (Beardsworth y Hernández, 2004).

Las desventajas de este método de evaluación, es la inexactitud asociada al error humano, fatiga, variabilidad en la iluminación, diferentes ediciones del abanico, cambios ligeros en el color de las escalas (Bornstein y Bartov, 1966), deficiencia en la objetividad de la cuantificación (Fletcher , 1992; Becerril , 1988; Tirado, 1991).

Se recomienda realizar las mediciones en superficies que no reflejen la luz, así se eliminará la influencia de colores adyacentes, emplear la luz del día de manera indirecta debido a que si se utiliza una luz artificial potente tendremos reflejos de la superficie brillante de la yema, las escalas de color del abanico deben de colocarse cerca de la yema con los números hacia abajo cerrando el abanico entre cada medición para asegurar la independencia entre cada una de ellas, las observaciones deben de realizarse por un mismo observador (Konica Minolta, 2007; DSM Nutritional Products, 2014).

- **Colorímetro de reflectancia:** Método objetivo de medición del color, donde se utilizan tres impulsos luminosos. Este aparato determina la reflectancia en cuanto a longitudes de onda predefinidas que se usan para expresar y calcular el color. Pueden utilizarse equipos portátiles o fijos, permitiendo una evaluación

estandarizada, inmediata y computarizada (Fletcher, 1977; Becerril , 1988; Konica Minolta, 2007).

En 1976 C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage o en español Comisión Internacional de la Iluminación) definió un espacio de color conocido como el sistema CIE Lab, el cual mide numéricamente la tridimensionalidad de un color utilizando las siguientes variables (Figura 5) (Huyghebaert, 1989; Tirado, 1991; Konica Minolta, 2007; Cisneros , 2012; Englmaierová et al., 2013):

- Luminosidad (L^*): indica la presencia o ausencia de luz abarcando desde el negro absoluto con un valor de 0 hasta el valor 100 que corresponde a la iluminación total.
- Enrojecimiento (a^*): la escala va de -60 a +60, los valores negativos corresponden a la tonalidad verde mientras que los positivos corresponden al rojo.
- Amarilleamiento (b^*): las lecturas van de -60 a +60, la tendencia negativa corresponde al color azul y la positiva pertenece al color amarillo.

Las ventajas de este aparato, es que elimina la subjetividad de las lecturas, factor de fatiga del evaluador, variación entre distintos evaluadores, además posee patrones de referencia y se expresa en forma numérica lo cual facilita entender las diferencias entre los colores. Dentro de sus desventajas está el costo del equipo (Tirado, 1991).

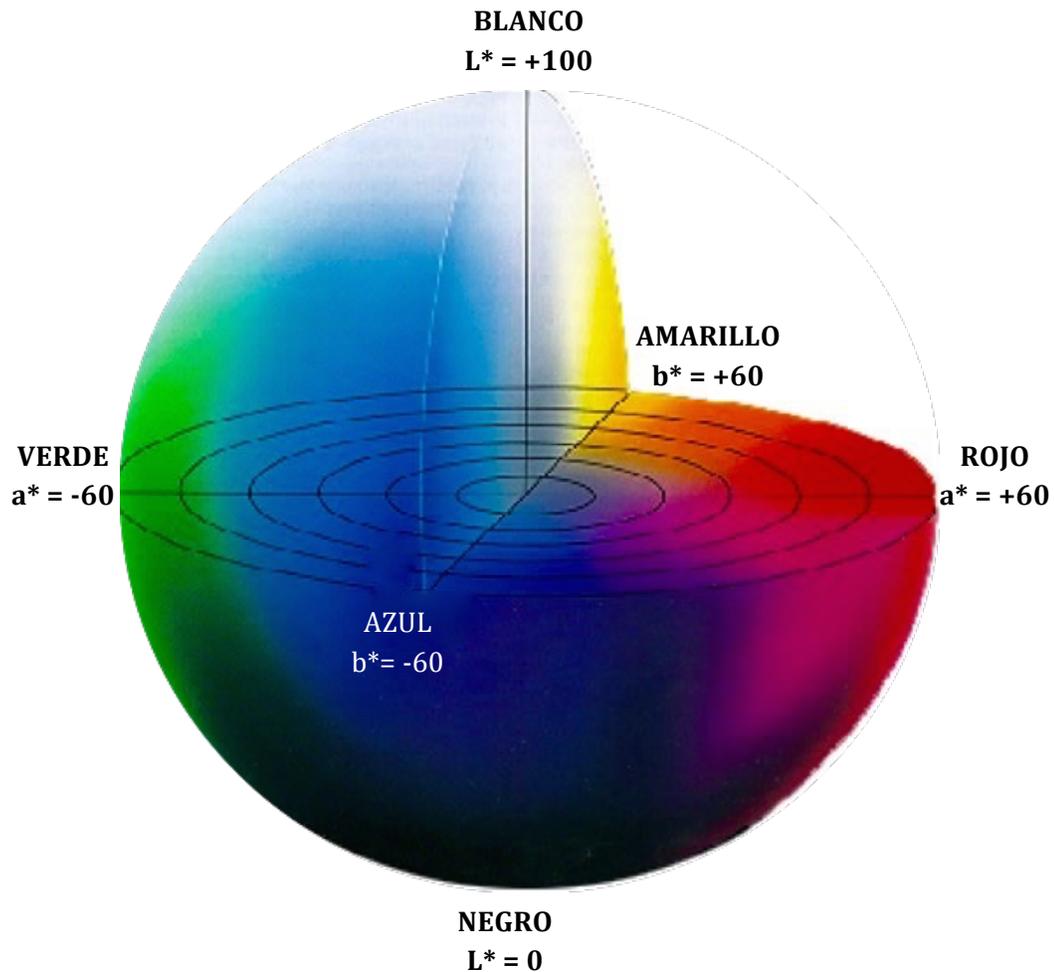


Figura 5. Representación de la escala de colores conforme al sistema CIELab.

Adaptado de Konica Minolta (2007).

- **Croma:** Se utiliza cuando se desea obtener el tono de un color o intensidad (vívido u opaco), se obtiene al calcular la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de a^* y b^* tal como se representa en la Figura 6 (Tirado, 1991; Konica Minolta, 2007).

$$\text{Croma (C}^*) = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

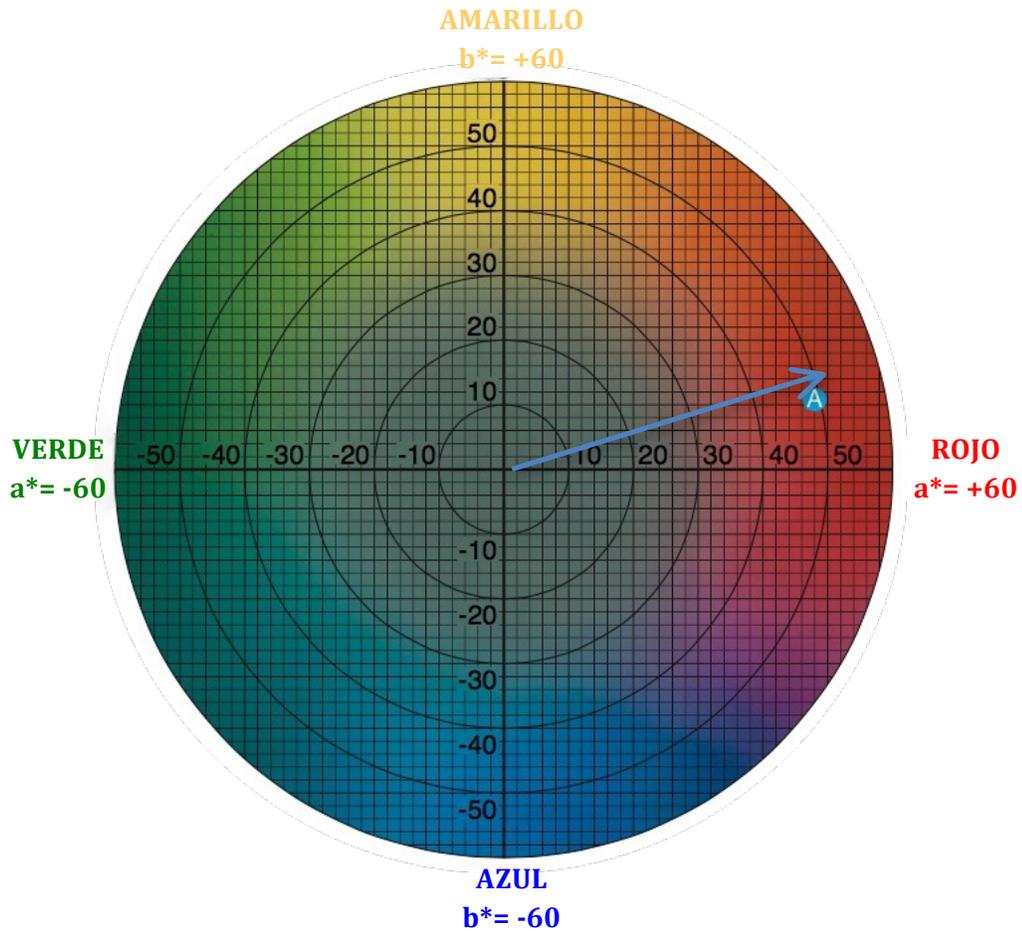


Figura 6. Diagrama de $L^*a^*b^*$, donde se representa el Croma con la letra “A” (Ej. $L=43.31$, $a= 47.63$, $b= 14.12$).

Adaptado de Konica Minolta (2007).

1.11.2 Métodos indirectos.

El análisis químico de pigmentos, se basa en la concentración y perfil de las xantofilas contenidas en la muestra analizada. Se consideran indirectos por que pueden “correlacionarse” con el valor del color medido, dando una estimación, muchas veces muy distante del color esperado. Las muestras que se pueden analizar son: alimento, suero y yema de huevo (Hernández, 2014), realizándose

bajo un ambiente de laboratorio, equipo sofisticado y personal capacitado (Fletcher, 1977; Krinsky, 2001; Islam y Schweigert, 2015).

La evaluación en yemas de huevo se realiza para medir el grado de pigmentación con la finalidad de buscar la aceptación del consumidor (Islam y Schweigert, 2015), el método químico analítico más utilizado, es la cromatografía líquida de alta resolución (H.P.C.L.), técnica que se basa en la separación, identificación y cuantificación de los pigmentos (Breithaupt et al., 2003; Hamilton, 1992).

El nuevo avance tecnológico iCheck (BioAnalyt GmbH, Alemania) es un método alternativo, independiente de laboratorio el cual consiste en un espectrofotómetro LED transportable y una unidad analítica disponible para extraer y para cuantificar los carotenoides en un solo paso, compara la evaluación visual conforme la escala de Roche (hoy DSM) con la determinación fotométrica de β -carotenos por el AOAC (Bovsková et al., 2014; DSM Nutritional Products, 2014; Islam y Schweigert, 2015).

1.12 Factores que afectan la pigmentación.

1.12.1 Relacionados a la zona geográfica

- **Cultura y costumbre de los consumidores:** El color de la yema, es un característica clave que enmarca la calidad del huevo y no debe subestimarse. Los colores fuertes estimulan el apetito, la digestión y aumentan el gusto por comer (Fletcher , 1992; William, 1992; Suarez et al., 2000).

El grado deseado de pigmentación, depende de las preferencias del consumidor en un área geográfica en particular. Esta preferencia se basa en la tradición, demanda de producto en el mercado y la publicidad del mismo (Fletcher, 1977).

En México, en general se demandan ovoproductos con un color amarillo más intenso a comparación con el mercado de los Estados Unidos, lo que provoca usar

mayores niveles y diferentes fuentes de pigmentos así como combinaciones (Castañeda et al., 2005; Cortés, 2005).

1.12.2 Relacionados al pigmento

- **Origen:** Las fuentes de pigmentos carotenoides pueden ser naturales como por ejemplo el maíz (pigmento amarillo) y el chile rojo (pigmento rojo) entre otros, o pueden ser sintéticos tales como la cantaxantina (pigmento rojo) o el etil éster β apo-8-caroteno (pigmento amarillo) (Scott et al., 1968; Tirado, 1991; Garcia et al., 2002; Amaya et al., 2014).

Las diferencias de pigmentación dentro de los ingredientes naturales, se atribuyen a la variación biológica (genética de la semilla), factores asociados al cultivo (fecha de cultivo, recolección de la cosecha) y procesamiento (inestabilidad y desnaturalización durante el proceso de fabricación) (Scott et al., 1968; Fletcher, 1977; Huyghebaert, 1989; Tirado, 1991; Sirri et al., 2007).

Sirri et al. (2007) realizaron un estudio donde se compara la eficiencia entre pigmentos amarillos naturales y sintéticos (3:1) donde obtuvieron que la eficiencia de transferencia del apo-éster de la dieta a la yema de huevo fue de 55% para la estirpe Isa-Brown y de 50% para Hy-Line mientras que la eficiencia de flor de Cempasúchil fue de 18% para Isa Brown y de 16% para Hy-Line.

- **Almacenamiento:** Los carotenoides son un grupo muy susceptible, las condiciones de almacenamiento como altas temperaturas, humedad y luz natural aceleran el proceso de oxidación produciendo una variación en la fuente de pigmento (Fletcher, 1977; Karunajeewa, 1984; Fernández, 2000; Seemann, 2000).

Los pigmentos encapsulados también pueden verse afectados por los procesos de alta humedad y temperatura, debido a la destrucción de la cubierta exterior de gelatina (Cortés, 1998).

Sirri et al. (2007) mencionan que el contenido de xantofilas naturales en 180 muestras fue 30% menos que la calculada debido a la pérdida ocurrida durante el almacenamiento, la concentración del producto comercial fue de 20g/kg, al inicio de la prueba 14.7g/kg, a las diez semanas 10.4g/kg y después de 20 semanas 8.9g/kg proceso que difícilmente se presenta en los pigmentos sintéticos.

- **Presentación física:** (Klauri y Bauernfeind, 1981; Tirado, 1991)

- Líquida: Es una emulsión de xantofilas (no esterificadas), que utiliza agua y un surfactante. Con esto se reducen los problemas en la digestión al preemulsionar la grasa, lo que mejorará la aplicación en los alimentos (Vicente, 2000; Fernández, 2000; Cortés, 2005; Amaya et al., 2014).

Si la estabilidad del producto baja, la emulsión se rompe y se corre el riesgo de incluir dosificaciones inadecuadas al alimento (Cortés, 1998).

- Sólida: El producto final debe ser de flujo libre para asegurar la correcta incorporación en el alimento, así evitando el apelmazamiento y el amontonamiento.

Dentro de las presentaciones en forma sólida, se encuentra el polvo y las perlas (Amaya et al., 2014).

El apo-éster y la cantaxantina, son comercializadas en perlas formadas por un polvo de flujo libre en una matriz revestida por una gelatina y carbohidratos adicionada con etoxiquina y palmitato de ascorbicina como antioxidantes (DSM Nutritional Products, 2006; DSM Nutritional Products, 2014). Algunos autores, refieren una desventaja sobre este tipo de presentación por el tamaño desigual de las partículas (Huyghebaert, 1989; Fernández, 2000; Vicente, 2000).

Balnave et al. (1996) compararon la utilización de apo-éster en polvo y xantofilas de flor de Cempasúchil en forma líquida obteniendo una deposición más eficiente del apo-éster en la yema de huevo respecto a la flor de cempasúchil.

- **Nivel de inclusión de pigmentos en la dieta:** Debido a que las aves solamente son capaces de absorber los carotenoides y modificar su estructura mediante un proceso de metabolismo oxidativo para acumularse en los tejidos de depósito

(órganos reproductivos y yema de huevo), el grado de pigmentación de la yema de huevo será directamente proporcional a la cantidad de xantofilas suministrada en el alimento (Fletcher, 1977; Balnave y Bird, 1996; Sirri et al., 2007; Tarique et al., 2013; Amaya et al., 2014).

El contenido de energía en la ración juega un papel importante en las gallinas productoras de huevo para plato, debido a que niveles elevados de energía metabolizable en la dieta disminuyen el consumo de alimento y por lo tanto de los pigmentos, por lo que se deben de ajustar en la dieta para obtener la coloración deseada (Seemann, 2000).

Schiedt et al. (1987) realizaron un experimento que les dio por resultado la deposición de cantaxantina en yema de huevo (31%) a inclusiones de 4 mg/kg suplementada en dieta.

Balnave et al. (1996) utilizaron una dieta control que contenía 5 mg/kg de una mezcla comercial de apo-éster y cantaxantina en una relación de 1.28:1 brindando 2.8 mg/kg de apo-éster y 2.2 de cantaxantina logrando obtener mejor deposición de apo-éster que la esperada.

Sirri et al. (2007) mencionaron que al incrementar los niveles de suplementación de apo-éster en la dieta causa que los equivalentes del β caroteno se eleven de manera significativa y linealmente en Isa-Brown 66-104 ppm y en Hy-Line 50-103 ppm, resultando en una mayor intensidad de la pigmentación amarilla y logrando una buena base para la pigmentación roja conforme se incrementaban los niveles de inclusión.

Cuca et al. (2009) expresan que para obtener una coloración amarilla aceptable para el consumidor se requiere de 8-10 ppm de xantofilas amarillas. Para lograr una tonalidad anaranjada se debe adicionar además cantaxantina a razón de 1 ppm.

- Interacción con otros ingredientes

- **Grasas:** La adición de niveles crecientes de grasa, mejora la absorción de los pigmentos debido a que los carotenoides son solubles en lípidos y esto influye en una mejor absorción a nivel intestinal. La adición extra de lípidos dependerá de la concentración en la dieta, el tipo de pigmentos y la solubilidad de estos (Montilla & Angulo, 1984). En general los aceites o grasas de origen animal (ácidos grasos de cadena larga, saturados) tienen un efecto negativo sobre la pigmentación (Karunajeewa, 1984; Cortés, 1998; Vicente, 2000; Fernández, 2000).

Biedermann y Prabucki (1969) observaron que al incluir en la ración 3% de aceite de maíz o del 2-4% de aceite de girasol en dietas que contenían 2.2ppm de una mezcla de oxicarotenoides sintéticos se incrementó el color de la yema, mientras que al agregar altas concentraciones 7.2 a 8.8ppm de cantaxantina no existió el mismo efecto.

Karunajeewa (1984) probó que al adicionar 4% de aceite vegetal en las raciones, mejoró el color de la yema cuando se utilizaban oxicarotenoides sintéticos como fuentes de pigmentos.

- **Vitamina E:** Es importante su utilización dentro de las raciones ya que previene la destrucción oxidativa de grasas, vitaminas solubles y xantofilas aumentando la deposición de estas últimas en la yema. Comúnmente se emplea el BHT y la etoxiquina (Karunajeewa, 1984; Avila, 1990).

Cuando el nivel de vitamina E es deficiente, el organismo moviliza los carotenoides para ser utilizados como antioxidantes, lo que repercute en una baja deposición de los pigmentos y por ende la disminución de la pigmentación de la yema (Fernández, 2000).

- **Vitamina A:** Niveles superiores de 20,000 UI/kg provoca competencia entre la absorción de vitamina A y los carotenoides reduciendo la pigmentación de la yema de huevo. En hipovitaminosis altera la concentración de

pigmentos en algunos tejidos debido a que las células intestinales convertirán una buena parte de los pigmentos en fragmentos metabólicos con función de Vitamina A (Karunajeewa, 1984; Montilla y Angulo, 1984; Fernández, 2000; Cortés, 2005).

- Calcio: El calcio dietético excesivo tiene efecto negativo en la deposición de carotenoides en yema, por afectarse la absorción de los lípidos (García et al., 2002).

1.12.3 Relacionados al procesamiento de la dieta

- **Calidad de mezclado:** Un punto importante a cuidar en la planta de alimentos, es la correcta adición y mezclado del pigmento en la ración para evitar errores y variaciones en la dieta (Tirado, 1991; Cortés, 2005; Seemann, 2000).

En el caso de pigmentos en polvo, se recomienda que estos se agreguen a una pre-mezcla la cual puede ocupar de 1-2% del total del alimento y deberá ser adicionada una vez que estén en la mezcladora al menos el 50% de los ingredientes de la dieta con lo cual se reducirá el riesgo de subdosificación y se mejorará el proceso de mezclado (Cortés, 1998).

- **Tamaño de la partícula de alimento:** Altas cantidades de partículas finas reducen el consumo de las gallinas, la proporción de las partículas finas (menores a 0.05mm) deberán de representar menos del 19% de la dieta (Seemann, 2000).

- **Olor y palatabilidad del alimento:** Las gallinas tienden a ser reactivas ante sabores muy amargos (ej. Medicaciones y uso de ácidos), rancios (grasas) y ácidos, disminuyen el consumo y por lo tanto la ingesta de pigmentos (Seemann, 2000).

1.12.4 Relacionados al manejo de las aves

- **Iluminación:** Un programa de iluminación adecuado dentro de las casetas, estimula a la gallina para la ingesta de alimento y por ende de los pigmentos (Quintana, 2011).
- **Restricción de agua:** La restricción parcial o total del agua disminuye drásticamente el consumo de alimento y pigmento (Seemann, 2000).
- **Tipo de crianza:** Existen diferencias en el color de la pigmentación de la yema en crianzas en piso o en jaula, dando valores mayores en la última (Karunajeewa, 1984) debido a la diferencia en la intensidad de la luz, consumo de alimento e higiene (Fletcher et al., 1977; Allen, 1993).

Fletcher et al. (1977) encontraron que las aves alojadas en jaulas produjeron yemas de huevo que presentaban una longitud de luz mayor con el colorímetro de reflectancia, mientras que las aves criadas en piso, presentaron una luminosidad menor en la yema lo cual representó dos unidades de medición por debajo de acuerdo al abanico de DSM.

- **Altas temperaturas:** El exceso de calor arriba de la temperatura de confort de las aves reduce el consumo de alimento y por ende baja el grado de pigmentación en la yema de huevo al ingerir menos pigmento (Seemann, 2000).

1.12.5 Relacionados con las aves

- **Genéticos:** Las estirpes cuentan con diferentes capacidades genéticas para absorber, transportar y depositar pigmentos en la yema de huevo, logrando diferentes intensidades de color (Scott et al., 1968; Marusich y Bauernfeind, 1981; Karunajeewa, 1984; Montilla y Angulo, 1984; Fletcher, 1977; Tirado, 1991; Sirri et al., 2007).

Sirri et al. (2007) realizaron un estudio donde se comparó la eficiencia de pigmentación de diferentes niveles de apo-éster y cantaxantina con dos estirpes de gallinas. Los resultados obtenidos en gallinas Isa-Brown mostraron mayor capacidad para transferir pigmentos de la dieta al huevo respecto a las gallinas Hy-Line Blancas.

- **Estado sanitario de las aves:** Cualquier afección que disminuya el consumo de alimento, provoque su rechazo o trastorne el mecanismo de absorción en la mucosa intestinal y el depósito de los carotenoides, incidirá desfavorablemente en la pigmentación de la yema (Tirado, 1991; Fletcher, 1977; Pérez-Vendrell et al., 2001; Tarique et al., 2013; Amaya et al., 2014).

- Coccidiosis: La infección por oocistos esporulados de parásitos del género *Eimeria* lesionan las células intestinales afectando la digestión y absorción de nutrientes y aditivos como el pigmento, factor que prevalece en camas con alta humedad en crianzas de piso (Seemann, 2000; Cortés, 2005; Blake y Tomley, 2014; Nogareda et al., 2015).

El tipo de coccidia, la gravedad de la infección y el área del intestino afectada son factores decisivos para una mala pigmentación (Marusich y Bauernfeind, 1981).

No se recomienda la sobredosificación de pigmento en alimento, debido a que es un gasto excesivo porque no hay absorción hasta 48 horas después de la infección efectiva (Cortés, 2005).

Seemann (2000) en su trabajo muestra el efecto de una infección en el intestino delgado con *Eimeria acervulina* en el cual al tercer día los niveles de cantaxantina en el suero y en el hígado bajan drásticamente y a los 5 días post infección es imposible detectarla.

- Micotoxinas: Metabolitos tóxicos secundarios en alimentos contaminados por hongos (Bryden, 2012) que intoxican al ave secuestrando los pigmentos en el hígado y reduciendo el transporte de carotenoides en sangre. Las condiciones de cosecha, manejo y

almacenamiento pueden provocarlo y no se revierten mientras persista la contaminación (Cuadro 2) (Scheffer et al., 1987; Seemann, 2000; Cheng et al., 2001; Cortés, 2005; Manafi et al., 2012).

Cuadro 2. Efectos tóxicos de las micotoxinas en gallinas productoras de huevo para plato.

Micotoxina	Signos clínicos
Aflatoxinas	Daño hepático, baja la calidad del cascarón, susceptibilidad a enfermedades Disminución del consumo de alimento, producción de huevo e incubabilidad
Ocratoxina	Daño renal e hígado graso Disminución de producción de huevo, peso de huevo, calidad del cascarón Disminución de conversión alimentaria y ganancia de peso
Tricotecenos	Reducción de consumo de alimento, ganancia de peso e ICA Disminución de producción de huevo, calidad del cascarón
Fumonisina	Hepatotóxico Menor ganancia de peso, bajo ICA

Adaptado de Bryden (2012)

- Síndrome del hígado graso: Disfunción hepática en las gallinas, relacionada con el metabolismo de los triglicéridos, como resultado se presenta una acumulación excesiva de grasa en el hígado, afectando el metabolismo de los pigmentos y una baja en la postura. Su causa es una mala formulación de dietas o un excesivo consumo de dietas altas en energía (Sirri et al., 2007; Jiang et al., 2013)

- Otras enfermedades como Newcastle, Coriza Infecciosa Aviar y Cólera aviar reducen de manera significativa la absorción de carotenoides y los niveles de pigmentos en suero (Fletcher, 1977).

1.13 Evaluación sensorial.

La evaluación sensorial se define como un método científico mediante el cual se evalúa, mide, analiza e interpreta las propiedades organolépticas de los alimentos a través de los estímulos percibidos por los sentidos humanos; vista, olfato, tacto, gusto y oído (Vance y Nolen, 2012; Espinosa, 2007) para brindar la aceptación o rechazo de un producto antes de producirlo, distribuirlo o comercializarlo (Tourila y Monteleone, 2009; Ibañez y Barcina , 2001; Carranco et al., 2011).

Actualmente, existen métodos instrumentales físicos y químicos que miden atributos como color, textura, aroma etc., que se caracterizan por su rapidez y reproducibilidad siendo de gran utilidad en el control rutinario de la industria alimentaria, sin embargo, presentan limitaciones e inconvenientes ante determinadas propiedades organolépticas de un alimento (Ibañez y Barcina , 2001) por esta razón, el instrumento más utilizado para la evaluación del color es el análisis sensorial (Bovsková et al., 2014).

1.13.1 Mecanismos de percepción sensorial.

Las propiedades organolépticas de los alimentos, constituyen el conjunto de estímulos que interactúan con los receptores del analizador (órganos de los sentidos). El receptor transforma el estímulo en un proceso nervioso que se trasmite a través de los nervios aferentes, hasta el área cortical del cerebro, donde se producen las diferentes sensaciones: color, forma, tamaño, aroma, textura y sabor (Espinosa, 2007).

El cerebro procesa la información; organiza, analiza e interpreta para crear una percepción. Una vez que el estímulo es reconocido, el cerebro formula una respuesta, que puede ser una identificación objetiva de la percepción “esto es dulce” o una reacción afectiva subjetiva “me gusta/no me gusta” (Vance y Nolen, 2012).

1.13.2 El sabor y el sentido del gusto.

El gusto se define como las sensaciones percibidas (sabor) por los receptores de la boca (botones gustativos) que se encuentran en las papilas gustativas de la lengua y en menores concentraciones en el paladar, mucosa de la epiglotis, faringe, laringe y garganta (Espinosa, 2007).

Existen 4 sensaciones primarias que constituyen los 5 sabores básicos. Dulce, se detecta en la punta de la lengua, salado y ácido bordes anteriores y posteriores respectivamente y amargos se detectan en parte posterior o base de la lengua y el umami (Espinosa, 2007).

Dentro de los factores que pueden afectar la detección de sabores, se encuentran; la edad (provoca degeneración de las papilas gustativas) y el regionalismo (preparación y forma de consumo del alimento) son determinantes en la preferencia de ciertos sabores (Tourila y Monteleone, 2009).

1.13.3 El color y el sentido de la vista.

El consumidor asocia el sabor de un producto a un color determinado. El ser humano percibe los colores por sus longitudes de onda que estimulan la capa más interna del ojo llamada retina, esta capa tiene receptores sensitivos llamados bastones (funcionan con luz tenue percibiendo colores acromáticos como el gris, blanco y negro y captan la forma y tamaño de los objetos) y los conos (funcionan

con luz intensa percibiendo colores cromáticos como rojo, verde y azul) (Espinosa, 2007; Konica Minolta, 2007).

El color es cuestión de opinión y es una interpretación subjetiva, por lo cual su expresión verbal es difícil y complicada, ya que se expresa en términos de tonalidad (color), ligereza (brillantez) y saturación (intensidad) (Konica Minolta, 2007).

Los factores que inciden en la percepción de los colores son, la edad y las alteraciones fisiológicas que afectan la retina (Espinosa, 2007).

1.13.4 Métodos de medición.

- **Objetivos:** se encargan del entendimiento del producto (Vance y Nolen, 2012).

- Discriminativos: Perciben diferencias o similitudes.
- Descriptivo: Documentan aspectos sensoriales cualitativos (atributos como aroma, sabor, textura, etc.) y cuantitativos (intensidad de los atributos).

- **Subjetivos:** Evalúa la respuesta del consumidor, aceptación y preferencia

- Cuantitativo: Utiliza mayor número de personas debido a la variabilidad y se brinda una escala para cuantificar la dimensión de aceptación del consumidor (Tourila et al., 2008).
- Cualitativo: Se basa en la descripción del producto y las emociones que causa.

2. JUSTIFICACIÓN

En México alcanzar la pigmentación amarillo-naranja del huevo para plato, es de gran importancia económica para la industria avícola, debido a la preferencia del consumidor, que asocia el color de la yema al estado de salud del animal y a la calidad del producto siendo la característica más importante que determina la preferencia para ser consumido o rechazado y por lo tanto presenta mayor demanda y precio de venta.

Debido al costo que representa la inclusión de pigmentos en la dieta y la importancia que tiene la coloración de la yema de huevo, se realizó el presente estudio con la finalidad de evaluar diferentes niveles de inclusión de apo-éster + cantaxantina en dietas sorgo-soya para gallinas Bovans Blanca sobre el comportamiento productivo, calidad interna-externa del huevo, pigmentación de la yema y se complementó realizando pruebas sensoriales de preferencia así como aceptación por parte de los consumidores en diferentes formas de consumo del huevo.

3. HIPÓTESIS

La inclusión creciente de apo-éster y cantaxantina en dietas de gallinas de postura, aumenta gradualmente la pigmentación de la yema de huevo, sin afectar; parámetros productivos, calidad interna-externa y sabor del huevo.

La adición de pigmento amarillo y rojo sintético en dietas para gallinas, incrementa la preferencia visual del color de la yema en las diferentes formas de consumo del huevo (revuelto, cocido, estrellado y fresco) por parte del consumidor.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la adición de niveles crecientes de apo-éster y cantaxantina en dietas sorgo-soya para gallinas de postura sobre parámetros productivos, calidad externa-interna del huevo, pigmentación de la yema, así como la preferencia visual y la aceptación del sabor por parte de los consumidores en diferentes formas de consumo del huevo (revuelto, cocido, estrellado y fresco).

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto sobre los parámetros productivos, al incluir en la dieta de gallinas ponedoras niveles crecientes de apo-éster y cantaxantina.
- Medir la calidad externa e interna (grosor, resistencia de cascarón del huevo y Unidades Haugh), al adicionar pigmentos sintéticos rojos y amarillos en la dieta de gallinas.
- Cuantificar la pigmentación de la yema de huevo (aparato QCC ®, abanico colorimétrico DSM ® y fotocolorímetro de reflectancia Minolta ® CR-400 y Cromo), en gallinas alimentadas con apo-éster y cantaxantina.
- Evaluar el efecto de la inclusión creciente de pigmentos sintéticos en dietas de gallinas de postura, sobre el sabor del huevo en diferentes tipos de cocción (revuelto, cocido y estrellado).
- Determinar la preferencia visual del color de la yema de consumidores habituales de huevo en diferentes formas de consumo (revuelto, cocido, estrellado y fresco).

5. MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción 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 Manuel M. López S/N en la Colonia Santiago Zapotitlán de la Delegación Tláhuac, Distrito Federal, a una altura de 2250 m.s.n.m, en el paralelo 19°17' latitud norte y el meridiano 99° 02' 30" longitud oeste. El clima es templado subhúmedo (Cw), su temperatura promedio anual es de 16°C y la precipitación pluvial anual media de 747 mm (I.N.E.G.I., 2004).

Se utilizaron 144 gallinas de la estirpe Bovans Blanca de 30 semanas de edad (11 semanas de postura), alojadas en jaulas convencionales, en una caseta de ambiente natural. Las aves se distribuyeron al azar en 4 grupos con 36 aves cada uno, proporcionándoles un fotoperiodo de 16 horas luz/día (12 - 13 horas de luz natural por 3 - 4 horas de luz artificial) y 8 horas de obscuridad. Se ofreció 100g por ave día de alimento y el agua a libre acceso durante todo el experimento.

Todos los procedimientos de manejo de las aves, cumplieron con los requisitos señalados por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de los Animales Experimentales (CICUAE- FMVZ- UNAM con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999).

Se utilizó un diseño completamente al azar, de 4 tratamientos con 3 repeticiones de 12 gallinas cada una. Los tratamientos se presentan a continuación:

- Tratamiento 1. Dieta sorgo-soya + 2.5 ppm de apo-éster + 1 ppm de cantaxantina.
- Tratamiento 2. Dieta sorgo-soya + 3.0 ppm de apo-éster + 2 ppm de cantaxantina.

- Tratamiento 3. Dieta sorgo-soya + 3.5 ppm de apo-éster + 3.5 ppm de cantaxantina.
- Tratamiento 4. Dieta sorgo-soya + 4.0 ppm de apo-éster + 5.0 ppm de cantaxantina.

La formulación de las dietas basales sorgo-soya (Cuadro 3), se realizó con el programa Nutrion Windows TM versión 5.0 Pro, las cuales contenían 16.5% de PC y 2899 kcal/kg de EM y cubrían las necesidades de nutrientes de la estirpe más las adiciones de las diferentes concentraciones de pigmento señaladas anteriormente.

Durante 70 días de experimentación, se midió diariamente la producción de huevo; así como, el peso promedio del huevo para poder calcular porcentaje de postura y masa de huevo. También se llevó a cabo el registro de huevo roto, sucio y en fáfara. Semanalmente, se recogió el alimento sobrante de cada replica para calcular el consumo de alimento y el índice de conversión alimentaria, todo esto con el propósito de evaluar si la inclusión de pigmentos sintéticos en la dieta afectaba parámetros productivos y calidad externa del huevo.

Se realizó el pesaje de 3 gallinas por réplica, 12 gallinas por tratamiento al inicio y al finalizar el experimento, con la finalidad de registrar aumento o disminución de peso a lo largo de la prueba.

Semanalmente se seleccionaron 10 huevos de cada réplica, para medir la calidad interna del huevo, a excepción de la cuarta y decima semana que se ocuparon 20 huevos por replica (se juntó la producción de dos días, manteniéndolos en refrigeración 3°C). La evaluación tuvo lugar en las instalaciones del C.E.I.E.P.Av y se midieron las siguientes variables: Unidades Haugh, grosor de cascarón y color de yema con el sistema automatizado QCM+ de la empresa Technical Services and Supplies Inc (TSS®). Al día 0, 21 y 70 del experimento, se midió la resistencia de cascarón con el sistema QC-SPA de TSS®.

Además, semanalmente se realizaron mediciones visuales y colorimétricas de la pigmentación de la yema con el abanico de DSM® (DSM Nutritional Products, Basel, Switzerland, 2005), colorímetro de reflectancia Minolta® CR-400 (Konica Minolta, Osaka, Japón) y Croma ($C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$) de acuerdo al sistema CIELab.

Al finalizar el estudio, se seleccionaron 40 huevos al azar de cada tratamiento (se mantuvieron en refrigeración hasta el día de su evaluación para evitar la pérdida o modificación de características organolépticas), para realizar la evaluación sensorial del huevo. Estas pruebas afectivas (jueces no entrenados), se llevaron a cabo en cubículos individuales dentro del Laboratorio de Evaluación Sensorial del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

Participaron 30 panelistas (ambos sexos) no entrenados, consumidores habituales de huevo para medir y cuantificar las características sensoriales (color y sabor) así como la preferencia y aceptación del producto en diferentes formas de consumo del huevo, los cuales son percibidos por los sentidos de la visión y el gusto. En el caso de las pruebas de sabor se les pidió que media hora antes de participar se abstuvieran de fumar y consumir alimentos como café, chicle, dulces etc. para evitar que se afecte la apreciación del sabor.

Para el sabor del huevo, se realizó una prueba de aceptación o nivel de agrado en la cual, se presenta una escala hedónica verbal para la descripción del sabor (Figura 7) para analizar los datos obtenidos, se realiza una conversión de la escala verbal en numérica. Se utilizó una luz roja en el cubículo para evitar el efecto visual (identificación de colores) y así no afectar o asociar el color con el sabor de la yema de huevo. A cada panelista se le presentó una charola con las muestras en un plato (debidamente identificado con 3 números aleatorios por tratamiento), un vaso con agua y una rebanada de pan blanco de caja. Se les pidió que probaran cada una de las muestras tomando entre cada bocado un trozo de pan blanco y sorbo de agua, con la finalidad de eliminar cualquier sabor residual.

En cuanto al color de la yema, se realizó una prueba de preferencia, en la cual el panelista observó detenidamente el color e indicando en el cuestionario (Figura 8) el nivel de agrado o desagrado conforme a la escala hedónica, para mostrar la aceptación o el rechazo hacia el producto. Los huevos se colocaron en platos de fondo blanco (codificados por tratamiento con 3 números aleatorios) y luz blanca en el cubículo, para mejorar la apreciación del color.

Nota: Los números aleatorios o códigos asignados en los cuestionarios y en la rotulación del material variaron entre cada prueba para evitar la asociación entre tratamientos.

Las diferentes formas de consumo del huevo a evaluar fueron las siguientes:

- Huevo revuelto: Se cocinaron 7 huevos de cada tratamiento en sartenes de teflón Thermo spot de T-fal® (indica la temperatura exacta para poder cocinar), al cual se le aplicó un disparo de aceite vegetal en aerosol, sin sal por 6 minutos. Para la prueba de sabor se entregó el huevo caliente.
- Huevo cocido: En una olla de metal marca Vasconia® se cubrieron con agua 2 cm por encima de 7 huevos por tratamiento hirviéndolos a 94.1°C (temperatura de ebullición en el D.F.) durante 6 minutos (técnica estandarizada en el Instituto de Nutrición), el tiempo se comenzó a contar a partir de la ebullición. Al finalizar el tiempo de cocción, se dejaron enfriar con agua a corriente por 5 minutos para retirarles el cascarón y cortarlos con un rebanador de huevos duros.
- Huevo estrellado: En un sartén de teflón Thermo spot de T-fal® (indica la temperatura exacta para poder cocinar) se cocinaron 12 huevos por tratamiento, con un disparo de aceite vegetal en aerosol hasta que la clara quedó cocida, sin tapar el sartén para evitar que la yema cambiara de coloración. Las muestras de huevo para evaluar color de la yema se cambiaron cada 30 minutos para evitar el secado del huevo (deshidratación) y mostrar una apariencia poco agradable a los panelistas,

no se realizó la prueba de sabor ya que la consistencia de la yema cruda no suele agradar a todos los consumidores.

- Huevo fresco: En esta prueba participaron 157 panelistas, consumidores habituales de huevo. Se colocó un huevo por tratamiento en platos de unicel de fondo blanco y las muestras se cambiaron cada 30 minutos.

Los datos obtenidos de las variables de parámetros productivos y calidad interna-externa del huevo, se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) conforme a un diseño completamente al azar utilizando el paquete estadístico SPSS versión 17 para Windows.

Modelo estadístico:

$$Y_{ik} = \mu + \alpha_i + e_{ik}$$

i = Tratamientos (1, 2, 3 y 4).

k = Réplicas (1, 2 y 3).

Y_{ik} = Variable de respuesta (porcentaje de postura, peso promedio del huevo, masa de huevo, consumo de alimento, conversión alimentaria, porcentaje de huevo roto, sucio y fáfara, peso inicial, peso final, ganancia de peso, grosor de cascarón, Unidades Haugh, resistencia del cascarón).

μ = Media general.

α_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

e_{ik} = Error experimental.

Al presentar diferencia estadística entre tratamientos ($P < 0.05$), los datos de las variables en estudio, se sometieron a un análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de ($P < 0.05$).

Además, para saber el tiempo en que se estabilizaba el color de la yema del huevo, se realizaron análisis de regresión lineal y cuadrática con el siguiente modelo estadístico.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 (x_1) + \beta_1 (x_1)^2$$

Y = Variable de respuesta (Luminosidad, amarilleamiento y enrojecimiento con el colorímetro de reflectancia; color de yema con abanico DSM y QCC; intensidad del color con valores de Cromo)

β_0 = Ordenada al origen.

β_1 = Pendiente.

x_1 = Nivel de inclusión de pigmentos en las dietas.

También, se realizó una prueba de correlación de Pearson para medir asociación entre los valores obtenidos entre Cromo-QCC y Cromo-DSM. Con objeto de evaluar si existían diferencias en la medición del color de la yema en el equipo QCC calibrado con el abanico de versión anterior, respecto a la medición visual con un abanico de color de yema DSM del año 2005, se hizo la misma prueba.

Los datos obtenidos de preferencia (color de huevo revuelto, cocido, estrellado y fresco) y aceptación (sabor de huevo revuelto y cocido) del consumidor se sometieron a un análisis estadístico de varianza y a uno no paramétrico con la prueba de Friedman . Para representar los valores se graficaron en el eje de las Y los valores de puntuación obtenidos de la suma de los rangos de cada tratamiento conforme la escala hedónica utilizada. En la gráfica de preferencia del color de la yema de huevo fresco se utilizó el valor crítico de 100 obtenido de tablas señaladas por Newell y MacFarlane (1987) (Newell y MacFarlane, 1987; Pedrero y Pangborn, 1989).

6. RESULTADOS

Los resultados promedio obtenidos en 70 días de experimentación de parámetros productivos (porcentaje de postura, peso promedio del huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimentaria) se muestran en el Cuadro 4, se observa que no existió diferencia estadística ($P>0.05$) entre los diferentes tratamientos.

En el Cuadro 5, se encuentran los datos promedio de los porcentajes de huevo roto, huevo fáfara y huevo sucio, sin encontrar diferencias estadística ($P>0.05$) entre los diferentes niveles de apo-éster y cantaxantina.

En cuanto a los datos promedio de peso inicial, peso final y ganancia de peso se muestran en el Cuadro 6. Los datos indicaron que no hubo diferencia estadística ($P>0.05$) entre tratamientos para cada una de estas variables.

Los resultados promedio para las variables grosor y resistencia de cascarón y Unidades Haugh se pueden observar en el Cuadro 7. Los resultados indicaron nuevamente que no existió diferencia significativa ($P>0.05$) entre los niveles de apo-éster y cantaxantina.

En el Cuadro 8, se pueden observar las ecuaciones de predicción de la pigmentación de la yema con el colorímetro de yema QCC a los 28 días de experimentación (TSS), estas ecuaciones muestran que existió respuesta lineal en el tratamiento 4 y cuadrática ($P<0.001$) en los demás tratamientos. Indicando que a los 28 días existió un punto de inflexión en la pigmentación de la yema para cada uno de los tratamientos.

Sin embargo, en la Figura 9, se muestra claramente que el color de la yema medido con el colorímetro QCC (TSS) en 21 días de experimentación presentó efecto lineal ($Y= 9.5678 + 1.277x$) a la adición creciente de apo-éster y cantaxantina, con una mayor coloración de la yema (11, 12, 13 y 15) para los tratamientos.

Los datos promedio del color de la yema de huevo obtenidos con el colorímetro QCC a los 70 días de experimentación se pueden observar en la Figura 10, en donde muestra que existe efecto lineal ($Y= 8.13 + 1.25 x$) a la coloración de la yema (9, 11, 12, 13), conforme se incrementó el nivel de inclusión de ambos pigmentos en la dieta.

En la Figura 11, se pueden observar los datos promedio del color de la yema de huevo a los 21 días con el abanico DSM, presentando un efecto lineal ($Y= 9.6 + 1.35x$) en el color de la yema (11, 12, 14, 15) de acuerdo al incremento de pigmentos sintéticos en la dieta. Sin embargo en el Cuadro 9 se muestran las ecuaciones de predicción de la pigmentación de la yema con el abanico DSM en 28 días de experimentación, donde las ecuaciones de regresión indicaron efecto cuadrático ($P<0.001$), nuevamente estas ecuaciones indican el punto de inflexión, en donde se observó la disminución de la coloración de la yema con el abanico DSM.

Los datos promedio del color de la yema con el abanico DSM en 70 días de experimentación indicaron nuevamente efecto lineal ($Y= 8.267 + 1.353x$) con mejores valores de pigmentación (10,11,12,14) en cuanto se incrementó la inclusión de pigmentos en los tratamientos tal como se puede apreciar en la Figura 12.

En el Cuadro 10, se encuentran las ecuaciones lineales de predicción en 21 días de experimentación de los valores de luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*) y amarilleamiento (b^*), bajo el sistema CieLab. Para luminosidad se puede apreciar que la ecuación de regresión indicó que al aumentar el nivel de pigmentos en la dieta se disminuyó la luminosidad ($P<0.001$), sin embargo para enrojecimiento y amarilleamiento las ecuaciones indicaron que a mayor inclusión de pigmentos sintéticos se incrementaron los valores de estas variables. De la misma manera en el Cuadro 11 para la variable de luminosidad la ecuación de regresión lineal a los 70 días de experimentación indicó que a mayor dosis de pigmento en la dieta se disminuyeron sus valores y para los valores de enrojecimiento estos incrementaron linealmente ($P<0.001$) de acuerdo al nivel de pigmentos empleados

en los tratamientos. Sin embargo para la variable de amarilleamiento la ecuación indicó ser lineal y cuadrática en la cual se disminuyó la pigmentación amarilla de la yema.

Debido a que los valores de Croma toman en cuenta al mismo tiempo el amarilleamiento y el enrojecimiento se analizaron los datos promedio del color de la yema de huevo a los 21 días de experimentación, la información obtenida se encuentra en la Figura 13, estos datos indicaron que existió efecto lineal ($Y = 39.794 + 1.121x$) con mayores valores de cromas (40.91, 42.03, 43.15, 44.27) de acuerdo al incremento de apo-éster y Cantaxantina en las dietas.

En la Figura 14, se muestra un efecto cuadrático de valores de cromas ($Y = 36.839 + 2.668x^1 - 0.346x^2$) de todos los datos promedio semanales del color de la yema durante 70 días de experimentación, donde se aprecia que el valor máximo de cromas se encontró en el T3 (3.5ppm apo-éster y 3.5ppm de Cantaxantina) no así en el tratamiento 4 donde presentó un valor similar al tratamiento 3.

Las lecturas con el abanico de color de yema, colorímetro de reflectancia y cromas a los 21 días se expresan en el Cuadro 12, donde se puede observar que los valores en cada una de las variables evaluadas indicaron efecto lineal ($P < 0.05$), lo que indica que cada uno de los valores se incrementaron conforme el aumento de inclusión de apo-éster y cantaxantina.

Los resultados de la correlación DSM-QCC fueron del 96.1%, lo que indica que ambos métodos de medición para la evaluación del color de la yema son efectivos debido a la similitud de sus mediciones.

Para los datos de correlación Cromas-QCC indicaron una semejanza en la medición del 40.8%, mientras que la correlación Cromas-DSM fue de 40.2%. Estos valores indicaron una baja correlación entre ambos métodos de medición.

Los valores obtenidos en cuanto a la preferencia del color y la aceptación del sabor, se graficaron utilizando el total de puntaje de acuerdo a la escala hedónica

utilizada para cada tratamiento; a más alta puntuación mayor fue la preferencia y aceptación.

Los resultados de valores de preferencia de 157 consumidores, en cuanto a color de yema en huevo fresco con el abanico DSM*, se pueden apreciar en la Figura 15. Los consumidores tuvieron una mayor preferencia ($P < 0.05$) por el tratamiento 3 valor de la escala 13 (430 puntos) seguido por los tratamientos 2 escala 11 (413), 4 escala 14 (370) y 1 escala 10 (355) respectivamente.

Los datos del color de la yema en huevo revuelto y su preferencia están representados en la Figura 16, donde se muestra que existió menor preferencia ($P < 0.05$) en el tratamiento 1 (57 puntos) seguidos por 3, 4 y 2 con 67, 82 y 94 puntos respectivamente. Sin embargo en cuanto a la aceptación del sabor en esta misma forma de consumo (Figura 17), el tratamiento 4 (125 puntos) obtuvo la mayor aceptación seguidos por los tratamientos 2 (117), 1 (116) y 3 (111); cabe señalar que en esta variable no existió diferencia ($P > 0.05$) entre tratamientos.

En cuanto a la forma de consumo, huevo cocido, se obtuvieron los siguientes resultados; los consumidores mostraron mayor ($P < 0.05$) preferencia (116, 110, 103 y 77 conforme al puntaje de acuerdo a la escala hedónica) para los tratamientos 3, 1, 2 y 4 (Figura 18). Con una mayor aceptación del sabor para el tratamiento 4 (123) seguido por los tratamientos 3, 2 y 1 (119, 117 y 112 respectivamente) representado en la Figura 19. Sin embargo, nuevamente el sabor no mostró diferencia significativa entre tratamientos.

En la Figura 20, se pueden apreciar los valores del color de yema en huevo estrellado. Se muestra que existió mayor preferencia ($P < 0.05$) el tratamiento 3 (91 puntos) seguido por los tratamientos 2 (85), 4 (70) y 1 (54).

7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en 70 días de experimentación de parámetros productivos, evolución del peso corporal así como calidad interna-externa de huevo no fueron afectados por las inclusiones crecientes de apo-éster y cantaxantina en dietas sorgo-soya. Estos resultados coinciden con diversos estudios realizados (Kirkpinar et al., 1999, Baiao et al., 1999, Santos-Bocanegra et al., 2004, Sirri et al., 2007 y Englamaierova, 2013) quienes mostraron que la inclusión de carotenoides para pigmentar la yema de huevo no afecta los parámetros productivos.

Los datos obtenidos en el presente estudio mostraron que la pigmentación de la yema de huevo con el aparato QCC de TSS a los 28 días, que está calibrado con el abanico de DSM indicaron respuesta lineal y cuadrática, encontrando el punto de saturación de los pigmentos a los 21 días; no así Nelson et al. (1990) que encontraron que la cantaxantina adicionada como único pigmento en la dieta se estabiliza al día 13, mostrando los mismos valores que al día 42 y Halaj et al. (1999), utilizaron pigmento sintético Carophyll® amarillo, observaron una pigmentación lineal en las yemas de los huevos entre los siete y diez días de la adición del pigmento. Probablemente esta discrepancia se deba a que las aves utilizadas en el presente estudio al inicio contaban con una pigmentación de la yema de huevo de un valor de 11 del abanico de DSM, quizás por esta razón llevó más tiempo estabilizarse el color de las yemas.

Al finalizar el estudio, los datos promedio con el mismo aparato indicaron efecto lineal en la pigmentación de la yema al incluir los niveles crecientes de carotenoides sintéticos. Estos datos coinciden con lo señalado anteriormente por diferentes autores que indican que al aumentar los carotenoides en la dieta, se incrementa la coloración en la yema de huevo.

La evaluación visual de la coloración de la yema a lo largo de la experimentación utilizando el abanico DSM®, indica que el comportamiento del color fue lineal a

medida que se incrementaron las dosis de pigmentos sintéticos en las dietas; información similar encontrada al hacer la evaluación a través del aparato QCC, lo que reafirma lo fácil que es valorar la pigmentación visualmente a través del abanico DSM.

A continuación, se presentan algunos estudios que coinciden en parte con la información obtenida en este estudio en la pigmentación de la yema del huevo con carotenoides sintéticos; Fletcher (1984) evaluó diferentes fuentes de xantofilas en el alimento para conocer su capacidad de coloración así como su deposición. Al medir con el abanico, la respuesta visual más alta amarillo - naranja fue con cantaxantina (15), seguido por el apo-éster (13) y cempasúchil (11). En cuanto a los valores obtenidos con el colorímetro de reflectancia se corroboraron con los valores obtenidos con el abanico, las fuentes que resultaron con respuestas visuales más altas, tuvieron valores de enrojecimiento más altos.

Por otra parte, Kirkpinar y Erkek (1999) investigaron el efecto de la adición de diferentes niveles y combinaciones de pigmentos sintéticos y naturales en dietas maíz-trigo, obteniendo un mayor valor de color con el abanico DSM en gallinas alimentadas con cantaxantina y apo-éster + cantaxantina (relación 3:1). García et al. (2002) concluyen que para obtener colores de yema con un valor de 14 con el abanico de DSM, es necesario agregar 6ppm de cantaxantina.

Santos et al. (2004) realizaron un experimento para comparar la eficacia para incrementar el color de la yema a partir de xantofilas amarillas (*Tagetes erecta*) y rojas (*Capsicum spp.*) comparadas con apo-éster y cantaxantina. Las gallinas alimentadas con pigmentos sintéticos obtuvieron el mayor valor de acuerdo al abanico DSM superior a 12 dependiendo de la inclusión y la combinación, así como una mayor uniformidad en el color de la yema comparado con los pigmentos naturales.

Englmaierová et al. (2013) compararon el efecto de carotenoides sintéticos (apo-éster y cantaxantina), luteína y alga *Chlorella*, obteniendo una mayor coloración de la yema con el abanico DSM con pigmentos sintéticos.

Es de suma importancia recordar que para aumentar el costo-beneficio en cuanto a la pigmentación de la yema de huevo, la literatura recomienda la combinación de dos fuentes de color (amarillo y rojo) para alcanzar tonalidades mayores amarillo - naranja de una manera más económica, tal como lo indican Golbarth et al. (2004) quienes indican no es redituable incluir niveles elevados de pigmentos amarillos para alcanzar valores mayores de 13 en la escala del abanico de DSM.

En general los datos encontrados de la evaluación de la yema utilizando el colorímetro de reflectancia Minolta CR-400®, se observó que los valores de enrojecimiento y amarilleamiento aumentaron a medida que se incrementaron los niveles de apo-éster y cantaxantina, los valores de Luminosidad disminuyeron conforme se incrementó la inclusión de pigmentos sintéticos, estos resultados coinciden con Fletcher (1977) quien analizó las características del color de yemas de huevo provenientes de gallinas alimentadas con apo-éster y cantaxantina en combinación o separadas a diferentes niveles de inclusión; entre las cuales la cantaxantina presentó un efecto mayor en longitud de onda dominante, en gallinas alimentadas con la combinación apo-éster/cantaxantina en comparación con las alimentadas solo con apo-éster. La luminosidad disminuyó de 42.42 (dieta sin xantofilas) a 34.91 dietas adicionadas con apo-éster y 19.73 en dietas adicionadas con cantaxantina en su inclusión mayor, debido a que la cantaxantina tiene mayor absorción y menos reflectancia de la luz.

En un estudio realizado por Papa et al. (1985) observaron que las fuentes sintéticas (cantaxantina y apo-éster) tuvieron mayor capacidad pigmentante y brindaron mayores resultados en la comparación visual con el abanico de DSM así como valores con el colorímetro de reflectancia, en relación con las fuentes naturales.

Sirri et al. (2007) realizaron un experimento para comparar el efecto de la suplementación de dosis crecientes de apo-éster y pigmentos naturales en dietas (maíz/soya) de dos diferentes líneas de gallinas. Los resultados que se obtuvieron denotan que los niveles crecientes de apo-éster realza linealmente los niveles de enrojecimiento (a^*), siendo hasta 5 veces mayor que con el uso de extracto de

xantofilas de flor de cempasúchil y modifica los valores de luminosidad (L^*) y amarilleamiento (b^*) aumentando el color de la yema.

Para medir la intensidad del color de la yema, se utilizó la variable Cromo obteniendo valores mayores conforme se incrementaban los niveles de pigmentos sintéticos. Los resultados obtenidos en este experimento de acuerdo a los valores de L^* , a^* y b^* así como el Cromo, confirman lo realizado por Baiao et al. (1999) quienes pusieron a prueba la influencia de tres fuentes de pigmento amarillo y dos de pigmento rojo. Estos autores encontraron que el apo-éster pigmenta de manera más eficiente la yema de huevo que las dos fuentes naturales (extractos de xantofilas de flor de cempasúchil saponificados), en cuanto a la cantaxantina los valores de pigmentación fueron mayores que el extracto saponificado de Chile. También midieron la pigmentación por medio del colorímetro de reflectancia, indicando que el apo-éster y la cantaxantina aumentaron los valores de enrojecimiento y amarilleamiento (a^* y b^* respectivamente) en comparación con los pigmentos naturales, al igual que los valores de Cromo. Sin embargo en el presente experimento a los 70 días, se aprecia un valor máximo en el tratamiento 3 posiblemente por el punto de saturación de los pigmentos, señalando el costo beneficio de las inclusiones.

La preferencia del consumidor en cuanto al color de yema en huevo fresco, indicaron que el tratamiento 3 con un coloración de 13 conforme a la escala de valores del abanico DSM fue el de mayor preferencia, este hallazgo ha sido demostrado en diversos estudios de mercado realizados por las empresas líderes en el mercado de pigmento, donde en determinadas regiones de México y en el mundo, el consumidor asocia una coloración elevada en la yema de huevo con el buen estado de salud del animal y como parte esencial de la calidad del producto.

Lo anterior lo señala Brufau (1997), quien indica que la preferencia de la coloración de la yema de huevo, está ligada a costumbres y zona geográfica, señalando que el consumidor en Estados Unidos tienen una mayor preferencia del color de la yema entre 7-10 conforme el abanico de DSM, mientras que en

algunos países de Europa, Asia y América Latina prefieren valores de pigmentación de 10-14.

Por otra parte, Beardsworth y Hernández (2004) realizaron encuestas en varias ciudades Europeas (Alemania, España, Italia, Francia y Reino Unido) presentando al consumidor colores de yema de 10-14 de acuerdo al abanico DSM, mostrando una mayor preferencia por los colores más fuertes.

En el presente estudio la evaluación en la preferencia del color y aceptación del sabor del huevo se llevó a cabo también con diferentes métodos de cocción. El huevo cocido presentó una mayor preferencia en el tratamiento 3 con un valor de 13 en la escala del abanico DSM* ; sin embargo, hubo una menor preferencia del color del huevo del tratamiento 4 (14) de acuerdo a los valores del abanico DSM. Debido lo anterior probablemente a que en el tiempo de cocción (5 minutos), el color de la yema en el tratamiento 4 presentó una mayor intensidad de color en el centro de la yema haciéndolo lucir crudo y con una apariencia desagradable para el consumidor.

Al respecto, Nimalaratne et al. (2012) realizaron un experimento, para investigar los efectos de los métodos de cocción doméstica del huevo sobre el contenido de xantofilas. En la forma de consumo, el huevo cocido, tuvo una pérdida del 11.3 a 12.8% de en cantaxantina y 6.9-9% en apo-éster, estas pérdidas reflejan una posible degradación irreversible (los isómeros cambian de trans a cis) de xantofilas dependiendo del tiempo y temperatura debido a la oxidación de sus componentes, mientras que en el huevo frito no se percibe una mayor pérdida.

En cuanto a los resultados obtenidos en las encuestas de color de la yema en huevo frito (estrellado), el tratamiento 3 fue el que obtuvo la mayor preferencia. Sin embargo, en el huevo revuelto, los consumidores presentaron una mayor preferencia en el tratamiento 2 seguido por el 4 en cuanto a la coloración, a pesar de que el tratamiento 2 tuvo menor dosificación de pigmento respecto al tratamiento 3 que se esperaría fuera el más aceptado, de acuerdo a los resultados de las otras formas de consumo.

De lo anterior, se podría especular que la preferencia del color de la yema del huevo fresco no guarda relación total por parte de los consumidores cuando este es sometido a diferentes métodos de cocción.

En cuanto a la aceptación del sabor en todas las formas de consumo del huevo no hubo diferencia estadística debido a que el pigmento no tiene efecto sobre el sabor del huevo; este efecto de que los carotenoides no afectan el sabor del huevo está de acuerdo con diferentes estudios realizados (Huyghebaert, 1989, Brufau, 1997, De la Cruz et al. 2007, Cuca et al. 2009 y Carranco et al. 2011)

8. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y bajo las condiciones utilizadas en el presente estudio se puede concluir que:

- Gallinas Bovans Blancas alimentadas durante 70 días con dietas sorgo-soya con niveles crecientes de apo-éster/cantaxantina no mostraron diferencias en parámetros productivos y calidad de huevo.
- El color amarillo-naranja de la yema del huevo incrementó con niveles crecientes de apo-éster/ cantaxantina medido con el equipo QCC de TSS y visualmente con el abanico de DSM a valores (9-10, 10-11, 12-13, 14-15).
- Para este estudio, la evaluación del color de la yema de huevo fue más eficiente con el equipo QCC y el abanico que con el amarilleamiento y enrojecimiento a través del colorímetro de reflectancia; sin embargo, el Cromo obtenido con estos valores permitió una mejor interpretación.
- Existió una mayor preferencia del color visual (13) de la yema en huevo fresco, estrellado y cocido con 3.5pp de apo-éster + 3.5ppm de cantaxantina. Sin embargo, conforme a los tipos de cocción, en el huevo revuelto, los consumidores presentaron mayor preferencia por el tratamiento 2 con un color visual de 11, que colores más intensos como los de los tratamiento 3 y 4 (escala del abanico DSM 13 y 14 respectivamente).
- En cuanto al sabor del huevo, no existió diferencia en cuanto a su aceptación en sus diferentes formas de consumo.
- Finalmente, se infiere que el consumidor en el Valle de México mostró mayor preferencia por el huevo para plato con yemas de color amarillo-naranja, con valores visuales de 13 de acuerdo al abanico de DSM, con la inclusión de apo-éster y cantaxantina (3.5ppm/3.5ppm).

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Allen P. 1993. Effects of formaldehyde fumigation of housing on carotenoid pigmentation in three breeds of chickens. *Poultry Science* 72 (6):1040-1045.
2. Alonso PF, Castañeda SM, Escorcia MM, Merino GR. 2006. Zootecnia de Aves. En: M.E. Trujillo Ortega (ed). *Introducción a la Zootecnia*. 1st ed. México, D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. pp.257 - 287.
3. Amaya E, Becquet P, Carné S, Miralles. 2014. *Carotenoids in Animal Nutrition* [eBook]. Belgica: FEFANA Working Group Carotenoids. http://www.platform-fefana.org/Website/DOCS/2014-12-04_booklet_carotenoids.pdf . ISBN 978-2-9601289-4-9. [consulta: 27-Junio-2015].
4. Antoniol MA, Brandao FJ, Almeida ME, Arroxeles LV, Antrao SP, Jemima SQ. 2009. Sensorial characteristics of japanese quail eggs (*Coturnix japonica*) supplemented with synthetic pigments and selenomethionine. *Ciênc. agrotec., Lavras* 33(6):1594-1600.
5. Aureli R, Jenn P, Schierle J, Umar-Faruk M. 2013. Egg yolk pigmentation efficiency of apo-ester compared to two products with high zeaxanthin concentration. En: *19th European Symposium on Poultry Nutrition*. Germany. Worlds Poultry Science Association.
6. Avila G., 1990. Pigmentantes en la Avicultura. En Avila G, Shimada A, Llamas G. *Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria*. México: Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México. pp.239-50.
7. Baiao NC, Mendez J, Mateos J, García M, Mateos GG. 1999. Pigmenting Efficacy of Several Oxycarotenoids on Egg Yolk. *Journal Applied of Poultry Research* 8:472-479.
8. Baker R, Gunther C. 2004. The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. *Trends in Food Science & Technology* 15: 484-488.
9. Balnave D, Bird J.1996. Relative Efficiencies of Yellow Carotenoids for Egg Yolk Pigmentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 9(5):515-17.

10. Beardsworth P, Hernández J. 2004. Yolk colour an important egg quality attribute. *International Poultry Production* 12(5):17-18.
11. Becerril G. 1988. *Evaluación del poder pigmentante de luteína y capsantina en pollos de engorda y gallinas en postura con un colorímetro de reflectancia* [Tesis de Maestría]. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
12. Biedermann V, Prabucki A. 1969. Effect of the type and amount of dietary fat on the deposition of carotenoids in chicken eggs. *Arch. Gefluegelkd* 33: 125-32.
13. Blake D, Tomley F. 2014. Securing poultry production from the ever-present *Eimeria* challenge. *Trends in Parasitology* 30(1):12-19.
14. Bornstein S, Bartov I. 1966. Studies on Egg Yolk Pigmentation: A comparison between visual coring of yolk color and colorimetric assay of yolk carotenoids. *Poultry Science* 45(2):287-296.
15. Bortolotti G, Negro J, Surai P, Prieto P. 2003. Carotenoids in Eggs and Plasma of Red-Legged Partridges: Effects of Diet and Reproductive Output. *Physiological and Biochemical Zoology* 76(3):367-374.
16. Bovsková H, Míková K, Panovská Z. 2014. Evaluation of Egg Yolk Colour. *Czech Journal of Food Science* 32(2):213-217.
17. Breithaupt D, Weller P, Grashorn M. 2003. Quantification of Carotenoids in Chicken Plasma After Feeding Free or Esterified Lutein and Capsanthin Using High-Performance Liquid Chromatography and Liquid Chromatography-Mass Spectrometry Analysis. *Poultry Science* 82:395-401.
18. Brufau J. 1997. The golden opportunity. International table egg production supplement. *Int. Poult. Prod* 5: 17-25.
19. Brush A. 1990. Metabolism of carotenoid pigments in birds. *The FASEB Journal* 4:2969-2977.
20. Bryden W. 2012. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security. *Animal Feed Science and Technology* 173:134-158.
21. C.O.N.A.S.A.M.I., *Comisión Nacional de los Salarios Mínimos*. [Actualización: 22 de Diciembre del 2014]. México: Available at: Comisión Nacional de los Salarios Mínimos. Disponible en:

http://www.conasami.gob.mx/pdf/salario_minimo/sal_min_gral_prom.pdf
[consulta: 17 Noviembre 2014].

22. Camarinha BV, Gaspar A, Lima CL, Simoes T, Agostinho P. 2011. Stability of the pigmentation of egg yolks enriched with omega-3 and carophyll stored at room temperature and under refrigeration. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40(7):1540-1544.
23. Carranco M, Calvo C, Carrillo D. 2011. Harina de crustáceos en raciones de gallinas ponedoras. Efecto de las variables productivas y evaluación sensorial de huevos almacenados en diferentes condiciones. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45:171-175.
24. Castañeda M, Hirschler E, Sams A. 2005. Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poultry Science* 84:143-147.
25. Cheng Y, Shen T, Pang F, Cheng B. 2001. Effects of aflatoxin and carotenoids on growth performance and immune response in mule ducklings. *Comparative Biochemistry and Physiology* 128:19-26.
26. Cisneros F. 2012. Desarrollos tecnológicos en pigmentación de huevo y pollo de engorda. En: *V Congreso CLANA*. México.
27. Cortés C. 1998. Analisis de riesgos en puntos criticos de control de la pigmentacion de la piel del pollo de engorda. En: *Congreso AMENA*. México.
28. Cortés C. 2005. Factores que afectan la pigmentación. En: *1a Mesa de Discusión AMENA sobre Producción de pollo de engorda*. Juriquilla, Querétaro, 2005. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal.
29. Cuca G, Ávila G, Pro M. 2009. *Alimentación de las Aves*. 2da ed. México: Universidad Autónoma Chapingo, Dirección de Patronato Universitario, Departamento de Zootecnia.
30. DSM Nutricional Products, 2006. *Handbook of Feed Additives*. 24th ed. UK: Simon Mounsey.
31. DSM Nutritional Products, 2014. *Guidelines for egg yolk pigmentation with Carophyll®*. Disponible en: https://www.dsm.com/content/dam/dsm/anh/en_US/documents/CarophyllGuidelines2014_Web.pdf [consulta: 12 Junio 2015].

32. De la Cruz Sc, Avila GE, Fernández TS, Carrillo DS, Quintana LJ. 2007. Enriquecimiento del huevo con la adición de luteína y zeaxantina en dietas para gallinas Hy-Line W36 e Isa-Babcock B-380k. En: *XXXII Convención Nacional de la Asociación Nacional de Especialistas en Ciencias Avícolas*. México. Especialistas en Ciencias Avícolas.
33. Englmaierová M, Skřivan M, Bubancová I. 2013. A Comparison of Lutein, spray-dried Chlorella, and synthetic carotenoids effects on yolk colour, oxidative stability, and reproductive performance of laying hens. *Czech J. Anim. Sci.* 58(9):412–419.
34. Espinosa M. 2007. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. La Habana, Cuba: Ministerio de Educación Superior. Editorial Universitaria.
35. Fernández TS. 2000. Pigmentación en la Avicultura. En: *Memorias del Diplomado en Producción Avícola*. México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.
36. Fernández TS. 2010. The basics of pigmentation in broilers and laying hens. En: *31st Annual Convention, Western Nutrition Conference*. Canada.
37. Fletcher DL. 1992. Methodology for Achieving Pigment Specifications. *Poultry Science* 71: 733-43.
38. Fletcher DL. 1977. *Factors affecting the measurement and utilization of xanthophylls in the egg yolk and broiler skin* [Tesis doctoral]. Florida: University of Florida.
39. Fletcher DL. 1984. Evaluaciones de la pigmentación en aves. En *VII Ciclo Internacional de Conferencias sobre avicultura*. México. Colegio de postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
40. Fletcher DL, Janky DM, Christmas RB, Arafa AS, Harms RH. 1977. Strain Differences in Egg Yolk Pigmentation. *Poultry Science* 56:2061-63.
41. Garcia EA, Mendes AA, Pizzolante CC, Goncalves HC, Oliveira RP, Silva MA. 2002. Efeito dos Níveis de Cantaxantina na Dieta Sobre o Desempenho e Qualidade dos Ovos de Poedeiras Comerciais. *Brazilian Journal of Poultry Science* 4(1):1-7.
42. Galobart J, Rincón-Carruyo X, Manzanilla EG, Vilá B, Gasa J. 2004. Egg Yolk Color as Affected by Saponification of Different Natural Pigmenting Sources. *Applied Poultry Research* 13:328-334.

43. Guenther E, Wendell CC, Olson OE, Kohler GO, Livingston L. 1973. Pigmentation of egg yolks Xanthophylls from Corn, Marigold, Alfalfa and Synthetic Sources. *Poultry Science* 52:1787-1798.
44. Halaj M, Halaj P, Valasek F, Moravcik F, Melen M. 1999. The effect of synthetic pigment addition to feed on the color of hen egg yolk. *Czech Journal of Animal Science* 44:187-192.
45. Hamilton P. 1992. The use of High-performance Liquid Chromatography for Studying Pigmentation. *Poultry Science* 71:718-24.
46. Hencken H. 1992. Chemical and Physiological Behavior of Feed Carotenoids and their Effects on Pigmentation. *Poultry Science* 71:711-17.
47. Henry OJ, Darly FJ. 2011. Diferencias Bioquímicas y Fisiológicas en el Metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud* 10 (1): 88-98.
48. Hernández G. 2014. *Pigmentación en la Industria Avícola*. México: BM Editores. Disponible en : <http://bmeditores.mx/pigmentacion-en-la-industria-avicola/> [consulta: 19 Mayo 2015].
49. Hernandez J, Beardsworth P, Weber G. 2005. Egg quality-meeting consumer expectation. *International Poultry Production* 13(3):20-23.
50. Huyghebaert G. 1989. Avances recientes en la pigmentación de la yema de huevo y la piel del pollo. En: *IX Ciclo de Conferencias Internacionales sobre Avicultura*. México, D.F.
51. I.N.E.G.I., 2004. *Tláhuac: Cuaderno de Información básica delegacional*. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem04/info/df/m011/c09011_04.xls [consulta: 5 Mayo 2015].
52. I.N.E.G.I., 2010. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/default.aspx> [consulta: 17 Noviembre 2014].
53. I.N.E.G.I., 2014. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=25433&t=1> [consulta: 17 Noviembre 2014].
54. Ibañez M y Barcina A. 2001. *Análisis sensorial de los alimentos: métodos y aplicaciones*. Barcelona, España: Springer-Verlag.

55. Islam K, Schweigert F. 2015. Comparison of three spectrophotometric methods for analysis of egg yolk carotenoids. *Food chemistry* 172:233-37.
56. Jiang S, Cheng HW, Cui LY, Zhou ZL, Hou JF. 2013. Changes of blood parameters associated with bone remodeling following experimentally induced fatty liver disorder in laying hens. *Poultry Science* 92:1443-1453.
57. Johnson M, Krover D. 2010. Carotenoids in Poultry Nutrition. En: *31st Anal Conference, Western Nutrition Conference*. Canada.
58. Karunajeewa H. 1984. Factores influyentes en la pigmentación de la yema de huevo. *World's Poultry Science Journal* 40(1):52-65.
59. Khachik F. 2005. Chemical and Metabolic Oxidation of Carotenoids. En: L. Packer, K. Kraemer, U. Obermuller-Jevic & H. Sies (eds). *Carotenoids and Retinoids; Molecular Aspects an Health Issues*. Champaign, Illinois, USA: AOCS Press.
60. Kirkpinar F, Erkek R. 1999. The effects of some natural and synthetic pigment materials for egg yolk pigmentation and production in yellow corn diets. *Turk. J. Vet. Anim. Sci*, 23:15-21. [Resumen].
61. Klaui H, Bauernfeind J. 1981. Carotenoids as Food Color. En: J. Bauernfeind, ed. *Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors*. USA: Academic Press. pp.47-317.
62. Konica Minolta, 2007. *Precise color communication, Color control from perception to instrumentation*. Japón.
63. Koutsos E, Clifford A, Calvert C, Klasing K. 2003. Maternal carotenoid status modifies the incorporation of dietary carotenoids into immune tissues of growing chickens. *The Journal of Nutrition*, 133:1132-1136.
64. Krinsky N. 2001. Carotenoids as antioxidants. *Nutricion*, 17(10):815-17.
65. Krinsky N, Johnson E. 2005. Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine* 26:459-516.
66. Liaaen-Jensen S. 2004. Basic Carotenoid Chemistry. En: N. Krinsky, S. Mayne & H. Sies (eds). *Carotenoids in Health and Disease*. New York, Estados Unidos: Marcel Dekker. pp.1-30.
67. Manafi M, Murty H, Ali M, Narayana H. 2012. Evaluation of Different Mycotoxin Binders on Broiler Breeders Induced with Aflatoxin B1: Effects on Egg Quality Parameters. *World Applied Sciences Journal* 17(3):271-77.

68. Martínez P, Cortés C, Ávila G. 2004. Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel en pollos de engorda. *Técnica Pecuaria en México* 42(1):105-111.
69. Marusich W. 1971. Carotenoids. En: *Animal Nutrition Conference*. NC State University.
70. Marusich W, Bauernfeind J. 1981. Oxycarotenoid in Poultry Feeds. En: J. Bauernfeind (ed). *Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors*. USA: Academic Press. pp.319-462.
71. Meléndez M, Vicario M, Heredia F. 2007. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57(2):109-117.
72. Melendez M, Vicario I, Heredia F. 2004. Importancia Nutricional de los Pigmentos Carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(2):149-154.
73. Montilla J, Angulo I. 1984. Pigmentantes en raciones para aves. En: *Memorias del IV ciclo de conferencias de producción avícola*. Maracay, Venezuela.
74. Muñoz D, Fuente M, Hernández V, Avila G. 2012. Skin pigmentation in broiler chickens fed various levels of metabolizable energy and xanthophylls from *Tagetes erecta*. *Applied Poultry Research* 21(4) :788-796.
75. Nelson D, Janky D, Harms R. 1990. Research Note: A thirteen- day Assay for use in pigmentation Evaluation of Egg Yolks. *Poultry Science* 69:1610-1613.
76. Newell GJ, MacFarlane JD. 1987. Expanded tables for multiple comparison procedures in the analysis of ranked data. *J. Food Sci.* 52 (6) 1721-1725.
77. Nimalaratne C, Lopes L, Schieber A, Wu J. 2012. Effect of Domestic Cooking Methods on Egg Yolk Xanthophylls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:12547-12552.
78. Nimalaratne C, Wu J, Schieber A. 2013. Egg Yolk Carotenoids: Composition, Analysis, and Effects of Processing on Their Stability. En: P. Winterhalter , ed. *Carotenoid Cleavage Products*. Washington, DC, USA: ACS Symposium Series. pp.219-225.
79. Nogareda C, Moreno J, Angulo E, Sandmann G, Pertero M, Capell T, Zhu C, Chritou P. 2015. Carotenoid-enriched transgenic corn delivers

- bioavailable carotenoids to poultry and protects them against coccidiosis. *Plant Biotechnology Journal*, pp.1-19. DOI: 10.1111/pbi.12369.
80. Nordic Council of Ministers. 2002. *Food additives in Europe 2000; Status of safety assessments of food additives presently permitted in the EU*. Copenhagen: Norden, Nordic Council of Ministers
 81. Ofosu IW, Appiah-Nkansah E, Owusu L, Apea-Bah FB, Oduno I, Ellis OW. 2010. Formulation of Annatto Feed Concentrate for Layers and the Evaluation of Egg Yolk Color Preference of Consumers. *Journal of Food Biochemistry* 34:66-77.
 82. Okonkwo J. 2009. Effects of Breed and Storage Duration on the Beta-Carotene Content of Egg Yolk. *Pakistan Journal of Nutrition* 8(10):1629-1630.
 83. Papa C, Fletcher DL. 1985. Utilization and Yolk Coloring Capability of Xanthophylls from Synthetic and High Xanthophyll Concentrates. *Poultry Science* 64:1464-1469.
 84. Pedrero DL, Pangborn RM. 1989. Evaluación Sensorial de los Alimentos: Métodos Analíticos. Ed Alhambra. México. D.F.
 85. Pérez-Vendrell AM, Hernández JM, Llauradó L, Schierle J, Brufau J. 2001. Influence of Source and Ratio of Xanthophyll Pigments on Broiler Chicken Pigmentation and Performance. *Poultry Science* 80:320-326.
 86. Quintana J. 2011. *Avitecnia, Manejo de las aves domésticas más comunes*. 3rd ed. México: Trillas.
 87. Rosa AP, Santos C, Scher A. 2012. Carotenoides melhorando os parametros reprodutivos de aves. En: *V Congreso CLANA*. México. AMENA.
 88. Rosa AP, Scher A, Sorbara JO, Boemo LS, Forgiarini J, Londero A. 2012a. Effects of Canthaxanthin on the productive and reproductive performance of broiler breeds. *Poultry Science* 91:660-666.
 89. Sandeski L. 2013. *Optimización de la pigmentación de la yema de huevo* [Tesis de Maestría]. Sao Paulo, Brasil: Facultad de Medicina Veterinaria de Aracatuba Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".
 90. Santos-Bocanegra E, Ospina O, Oviedo R. 2004. Evaluation of Xanthophylls Extracted from *Tagetes erectus* (Marigold Flower) and *Capsicum Sp.* (Red Pepper Paprika) as a Pigment for Egg-yolks Compare

- with Synthetic Pigments. *International Journal of Poultry Science* 3(11):685-689.
91. Scheffer L, Tyczkowski K, Hamilton B. 1987. Alterations in Carotenoid Metabolism During Ochratoxicosis in Young Broiler Chickens. *Poultry Science* 66:318-324.
 92. Schiedt K. 1989. New Aspects of Carotenoid Metabolism in Animals. En: N. Krinsky, M. Mathews-Roth & R. Taylor (eds). *Carotenoids Chemistry and Biology*. NY, USA: Plenum Press. pp.247-268.
 93. Schiedt K, Weiser H, Weber S. 1987. *Retention, distribution and excretion of H3-labelled canthaxanthin in laying hens including egg yolk pigmentation* [Tesis doctoral]. Norway: University of Trondheim.
 94. Scott M, Ascarelli I, Olson G. 1968. Studies of Egg Yolk Pigmentation. *Poultry Science* 47: 863-872.
 95. Seemann M. 2000. *Factors which Influence Pigmentation*. Lohmann Tierzucht GmbH Disponible en: http://lohmann-information.com/content/l_i_24_article_4.pdf [citado: 26 Mayo 2015].
 96. Sirri F, Iaffaldano N, Minelli G, Meluzzi A, Rosato MP, Franchini A. 2007. Comparative Pigmentation Efficiency of High Dietary Levels of Apo-Ester and Marigold Extract on Quality Traits of Whole Liquid Egg of Two Strains of Laying Hens. *The Journal of Applied Poultry Research* 16:429-437.
 97. Sparks N. 2006. The hen's egg- is the role in human nutrition changing? *World's Poultry Science Journal* 62:308-315.
 98. Straub O. 1987. *Key to Carotenoids*. 2nd ed. Basel, Suiza: Birkhauser Verlag Basel.
 99. Suarez A, Forero P, Jordan O. 2000. *Protagonista, El huevo*. 1st ed. Colombia: Consuelo Mendoza Ediciones.
 100. Surai F. 2002. *Natural Antioxidants in Avian Nutrition and Reproduction*. Nottingham, UK: Nottingham University Press.
 101. Surai P, Sparks N. 2001. Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food. *Trends in Food Science & Technology* 12:7-16.
 102. Surai P, Speake B, Sparks N. 2001. Carotenoids in Avian Nutrition and Embryonic Development 1. Absorption, Availability and Levels in Plasma and Egg Yolk. *Journal of Poultry Science* 38:1-26.

103. Szabolcs J. 1989. Plant Carotenoids. In N. Krinsky, M. Mathews-Roth & F. Talor (eds). *Carotenoids Chemistry and Biology*. NY, USA: Plenum Press. pp.39-58.
104. Tarique MT, Yang S, Mohsina Z, Qui J, Zhao Y, Gang C, Ailang C. 2013. Role of Carotenoids in Poultry Industry in China: A Review. *Journal of Natural Sciences Research* 3(9):111-122.
105. Tirado AFJ. 1991. Pigmentos y pigmentación. En: *X Ciclo de Conferencias Internacionales sobre Avicultura*. México. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal.
106. Tortuero F, Centeno C. 1973. Studies of the Use of Calcium Carbonate in the Feeding of Laying Hens During Summer Months. *Poultry Science Journal* 52:866-872.
107. Tourila H, Huotilainen A, Lahteenmaki L. 2008. Comparison of affective rating scales an their relationship to variables reflecting food consumption. *Food Quality and Preference* 19:51-61.
108. Tourila H, Monteleone E. 2009. Sensory good science in the changing society: Opportunities, needs and changes. *Trends in food science and Technology* 20:54-62.
109. U.N.A., 2015. *Unión Nacional de Avicultores*. Disponible en: <http://una.org.mx/index.php/component/content/article/2-uncategorised/19-indicadores-economicos> [citado: 20 Agosto 2015].
110. Vance C, Nolen O. 2012. Sensory evaluation techniques- Make "Good for you" taste "good". *Physiology and Behavior* 107:598 -605.
111. Vicente S. 2000. Aspectos básicos sobre la pigmentación en la industria avícola. En: *Memorias del Diplomado en Producción Avícola*. México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.
112. Watts BM, Ylimaki GL, Jeffery LE, Elías LG. 1992. Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. International Development Research Centre. Ottawa. Canadá.
113. Weber GM, Machander V, Schierle J, Aureli R, Roos F, Pérez VA. 2013. Tolerance of poultry against an overdose of canthaxanthin as measured by performance, different blood variables and post-mortem evaluation. *Animal Feed Science and Technology* 186:91-100.

114. William W. 1992. Origin and Impact of Color on Consumer Preference for Food. *Poultry Science* 71:744-746.
115. Woodward S, Janky D, Harms R. 1986. The Influence of Light on Egg Yolk Pigmentation. *Poultry Science* 65:508-510.
116. Zahroojian , N., Moravej, H. & Shivazad , M., 2011. Comparison of marine algae (*Spirulina platensis*) and synthetic pigment in enhancing egg yolk colour of laying hens. *British Poultry Science* , 52(5), pp.584-88.

10. CUADROS

Cuadro 3. Composición de las dietas experimentales para gallinas y análisis calculados.

Ingredientes (kg)	Tratamientos (Apo-éster/ Cantaxantina)			
	2.5 ppm / 1 ppm	3 ppm / 2 ppm	3.5 ppm / 3.5 ppm	4 ppm / 5 ppm
Sorgo	645.88	645.88	645.88	645.88
Pasta de soya	218.60	218.60	218.60	218.60
Carbonato de calcio	98.39	98.39	98.39	98.39
Aceite de vegetal	19.00	19.00	19.00	19.00
Fosfato de calcio	7.15	7.15	7.15	7.15
Vitaminas y minerales *	3.00	3.00	3.00	3.00
DL- Metionina	2.47	2.47	2.47	2.47
Sal	2.40	2.40	2.40	2.40
Bicarbonato de sodio	2.28	2.28	2.28	2.28
L-Lisina HCl	0.72	0.72	0.72	0.72
Fitasa**	0.02	0.02	0.02	0.02
Vehículo inerte***	0.07	0.05	0.03	0.01
Pigmento amarillo sintético****	0.03	0.03	0.04	0.04
Pigmento rojo sintético****	0.01	0.02	0.04	0.05
TOTAL	1000	1000	1000	1000

Nutriente	Análisis calculado			
EM (kcal/kg)	2899	2899	2899	2899
Proteína Cruda (%)	16.50	16.50	16.50	16.50
Ca (%)	4.20	4.20	4.20	4.20
Fósforo disponible (%)	0.46	0.46	0.46	0.46
Sodio (%)	0.18	0.18	0.18	0.18
Lisina Dig. (%)	0.76	0.76	0.76	0.76
Metionina Dig. (%)	0.46	0.46	0.46	0.46
Thr Dig. (%)	0.51	0.51	0.51	0.51
Apo-éster (ppm)	2.50	3.00	3.50	4.00
Cantaxantina (ppm)	1.00	2.00	3.50	5.00

* Aporte de vitaminas y minerales por kg de alimento: Vitamina A; 13,000 UI, Vitamina D3; 2,000 UI, 25-OH-D3 (Rovimix Hy D); 0.0625 mg, Vitamina E; 50 mg, Vitamina K3; 3 mg, Vit B1; 3 mg, Vitamina B2; 10 mg, Vitamina B6; 10 mg, Vitamina B12; 0.02 mg, Niacina; 60 mg, ácido pantoténico; 15 mg, ácido fólico; 2 mg, biotina; 0.2 mg, colina; 454 mg, Cu; 8.6 mg, Fe; 44 mg, I; 1.0 mg, Mn; 56 mg, Se; 0.3 mg, Zn; 44 mg.

**RONOZYME HIPHOS M

*** Sipernat

****Carophill rojo (10% de cantaxantina) y Carophill amarillo (10% de Apo-éster)

Cuadro 4. Resultados promedio de parámetros productivos en 70 días de experimentación en gallinas Bovans Blancas alimentadas con diferentes niveles de inclusión de apo-éster y cantaxantina*.

Tratamiento (Apo-éster / Cantaxantina)	Postura (%)	Peso del Huevo (g)	Masa de huevo (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimentaria (kg:kg)
1.- 2.5 ppm / 1 ppm	92.1 ± 0.57	59.3 ± 0.25	54.7 ± 0.52	99.4 ± 0.06	1.82 ± 0.02
2.- 3 ppm / 2 ppm	92.8 ± 1.08	58.7 ± 0.32	54.5 ± 0.85	99.0 ± 0.19	1.82 ± 0.02
3.- 3.5 ppm / 3.5 ppm	93.0 ± 0.82	59.4 ± 0.43	55.2 ± 0.14	99.3 ± 0.22	1.80 ± 0.00
4.- 4 ppm / 5 ppm	93.9 ± 0.47	58.2 ± 0.84	54.7 ± 0.82	99.2 ± 0.32	1.82 ± 0.02

*La ausencia de literales en los valores promedio denota que no existe diferencia estadística entre tratamientos P<0.05.

Cuadro 5. Datos promedio de calidad externa del huevo en 70 días de experimentación en gallinas alimentadas con diferentes niveles de inclusión de apo-éster y cantaxantina*.

Tratamiento (Apo-éster / Cantaxantina)	Huevo Roto (%)	Huevo Fárfara (%)	Huevo Sucio (%)
1.- 2.5 ppm / 1 ppm	0.46 ± 0.22	0.08 ± 0.08	1.72 ± 0.35
2.- 3 ppm / 2 ppm	0.55 ± 0.22	0.13 ± 0.00	2.03 ± 0.59
3.- 3.5 ppm / 3.5 ppm	0.17 ± 0.04	0.04 ± 0.04	1.44 ± 0.29
4.- 4 ppm / 5 ppm	0.44 ± 0.12	0.04 ± 0.04	2.19 ± 0.97

*La ausencia de literales en los valores promedio denota que no existe diferencia estadística entre tratamientos P<0.05.

Cuadro 6. Evolución del peso corporal en gallinas alimentadas con diferentes niveles de pigmentos sintéticos en 70 días de experimentación*.

Tratamiento (Apo-éster / Cantaxantina)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Ganancia de peso (g)
1.- 2.5 ppm / 1 ppm	1614 ± 43	1611 ± 46	- 3 ± 2
2.- 3 ppm / 2 ppm	1537 ± 32	1523 ± 34	- 14 ± 1
3.- 3.5 ppm / 3.5 ppm	1620 ± 41	1599 ± 48	- 21 ± 2
4.- 4 ppm / 5 ppm	1591 ± 28	1577 ± 36	- 14 ± 2

*La ausencia de literales en los valores promedio denota que no existe diferencia estadística entre tratamientos $P < 0.05$.

Cuadro 7. Resultados promedio en 70 días de experimentación para grosor de cascarón, Unidades Haugh y resistencia del cascarón.*

Tratamiento (Apo-éster / Cantaxantina)	Grosor de cascarón (μm)	Unidades Haugh	Resistencia del cascarón (kg/cm^2)
1.- 2.5 ppm / 1 ppm	344.4 ± 1.2	92.6 ± 0.48	3709 ± 64
2.- 3 ppm / 2 ppm	349.2 ± 1.6	92.6 ± 0.53	3715 ± 29
3.- 3.5 ppm / 3.5 ppm	346.6 ± 1.2	92.3 ± 0.41	3747 ± 44
4.- 4 ppm / 5 ppm	347.0 ± 1.3	93.0 ± 0.26	3775 ± 59

*La ausencia de literales en los valores promedio denota que no existe diferencia estadística entre tratamientos $P < 0.05$.

Cuadro 8. Ecuaciones de predicción de la coloración de la yema con el colorímetro de yema QCC (TSS) en gallinas alimentadas con apo-éster y cantaxantina en 28 días de experimentación.

Tratamiento (Apo-éster / Cantaxantina)	Ecuación de regresión	R²	Probabilidad
1.- 2.5 ppm / 1 ppm	$Y = 6.883 + 2.520 x - 0.467 x^2$	0.402	0.001
2.- 3 ppm / 2 ppm	$Y = 7.942 + 3.162 x - 0.625 x^2$	0.413	0.001
3.- 3.5 pmm / 3.5 pmm	$Y = 9.233 + 2.883 x - 0.550 x^2$	0.406	0.001
4.- 4 ppm / 5 pmm	$Y = 11.425 + 1.885 x - 0.342 x$	0.230	0.001

Cuadro 9. Ecuaciones de predicción de la coloración de la yema de huevo con el abanico DSM en gallinas alimentadas con apo-éster y cantaxantina en 28 días de experimentación.

Tratamiento (Apo-éster / Cantaxantina)	Ecuación de regresión	R²	Probabilidad
1.- 2.5 ppm / 1 ppm	$Y = 7.858 + 2.328 x - 0.492 x^2$	0.444	0.001
2.- 3 ppm / 2 ppm	$Y = 9.658 + 2.178 x - 0.442 x^2$	0.407	0.001
3.- 3.5 pmm / 3.5 pmm	$Y = 10.358 + 2.332 x - 0.442 x^2$	0.450	0.001
4.- 4 ppm / 5 pmm	$Y = 10.950 + 3.047 x - 0.600 x^2$	0.509	0.001

Cuadro 10. Ecuaciones lineales de predicción a los 21 días de experimentación en yemas de huevo de gallinas alimentadas con apo-éster y cantaxantina en el sistema CIELab.

	Ecuación de regresión	R²	Probabilidad
L (Luminosidad)	$Y = 64.879 - 1.277 x$	0.447	0.001
a* (enrojecimiento)	$Y = - 3.861 + 3.429 x$	0.926	0.001
b* (amarillamiento)	$Y = 40.259 + 0.756 x$	0.088	0.001

Cuadro 11. Ecuaciones de predicción al final de los 70 días de experimentación en yemas de huevo de gallinas alimentadas con apo-éster y cantaxantina en el sistema CIELab.

	Ecuación de regresión	R²	Probabilidad
L (Luminosidad)	$Y = 62.583 - 1.107 x$	0.695	0.001
a* (enrojecimiento)	$Y = - 3.610 + 3.273 x$	0.978	0.001
b* (amarillamiento)	$Y = 36.56 + 3.03 x^1 - 0.480 x^2$	0.088	0.001

Cuadro 12. Lecturas con el abanico de DSM (2005), con el colorímetro de reflectancia Minolta CR-400 (L, a y b) y Croma a los 21 días.

Tratamiento (Apo-éster / Cantaxantina)	DSM 2005	L	a	b	Croma
1.- 2.5 ppm / 1 ppm	11	63.6	-0.43	41.0	40.9
2.- 3 ppm / 2 ppm	12	62.3	2.99	41.8	42.0
3.- 3.5 pmm / 3.5 pmm	14	61.4	6.42	42.5	43.2
4.- 4 ppm / 5 pmm	15	59.8	9.85	43.3	44.3

Valores con efecto lineal $P < 0.05$.

11. FIGURAS

PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO PARA HUEVO				
Nombre: _____	Fecha: _____			
PRODUCTO: ---				
Prueba para evaluar únicamente SABOR				
Instrucciones.- Pruebe las muestras de huevo e indique con una "X" su nivel de agrado de acuerdo con la escala que se presenta a continuación. Es importante que entre muestra y muestra tome agua y pan.				
	159	826	638	985
Gusta mucho	_____	_____	_____	_____
Gusta poco	_____	_____	_____	_____
Es indiferente	_____	_____	_____	_____
Disgusta poco	_____	_____	_____	_____
Disgusta mucho	_____	_____	_____	_____
Observaciones: _____				
GRACIAS.				

Figura 7. Cuestionario para la evaluación de sabor de huevo, en sus diferentes tipos de cocción (revuelto y cocido).

PRUEBA DE PREFERENCIA	
Nombre: _____	Fecha: _____
PRODUCTO: ---	
Prueba para evaluar únicamente COLOR	
Instrucciones.- Observe detenidamente las muestras que a continuación se le presentan, e indique su preferencia de mayor= 4, moderada=3, ligera=2 y menor= 1.	
NO SE PUEDEN REPETIR NÚMEROS DE PREFERENCIA	
MUESTRAS	PREFERENCIA
141	_____
378	_____
257	_____
540	_____
Observaciones: _____	

GRACIAS.	

Figura 8. Cuestionario para la evaluación de color de huevo en sus diferentes formas de consumo (revuelto, cocido, estrellado y fresco).

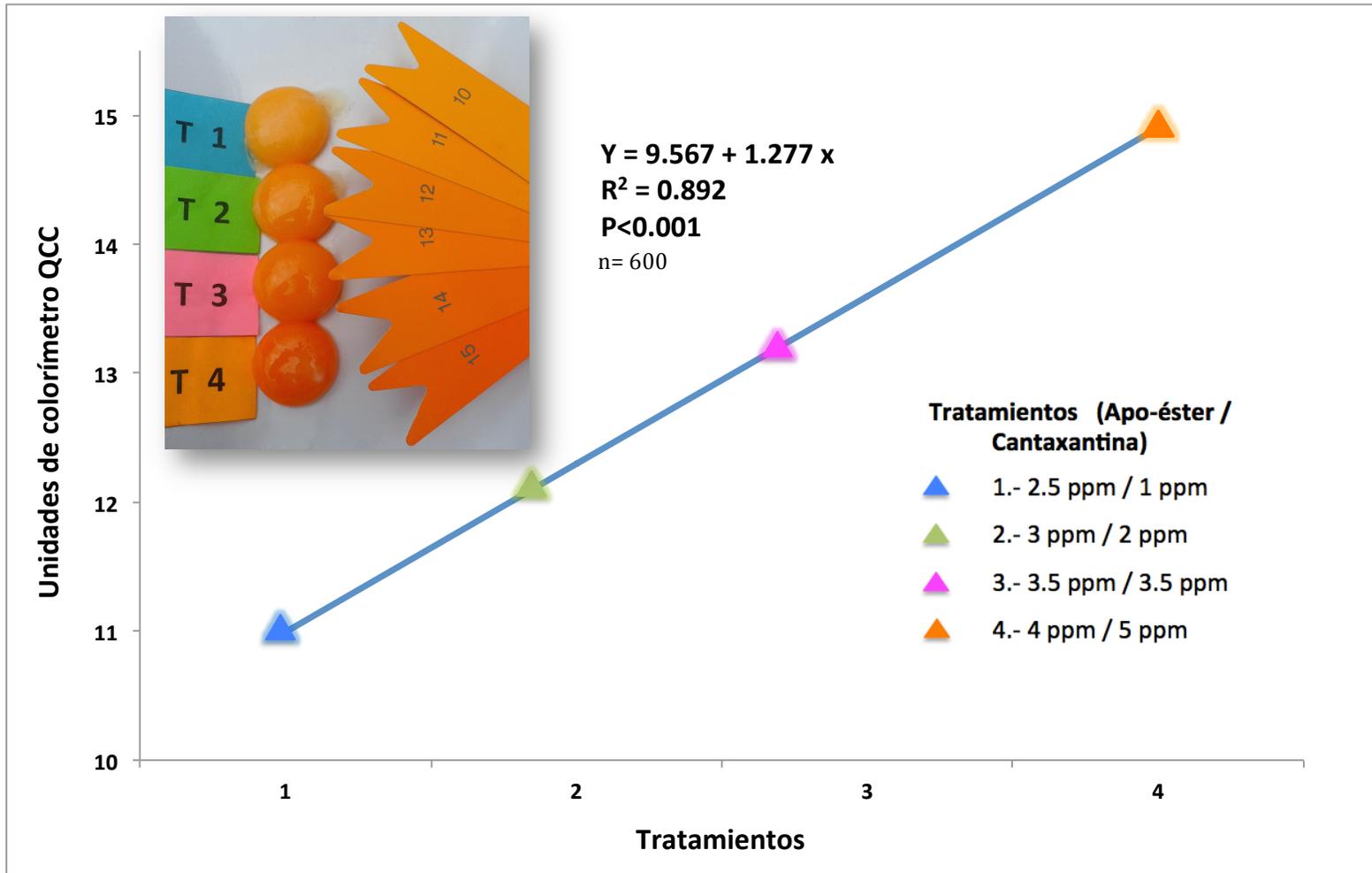


Figura 9. Datos promedio del color de la yema de 150 huevos por tratamiento utilizando el colorímetro QCC a los 21 días de experimentación.

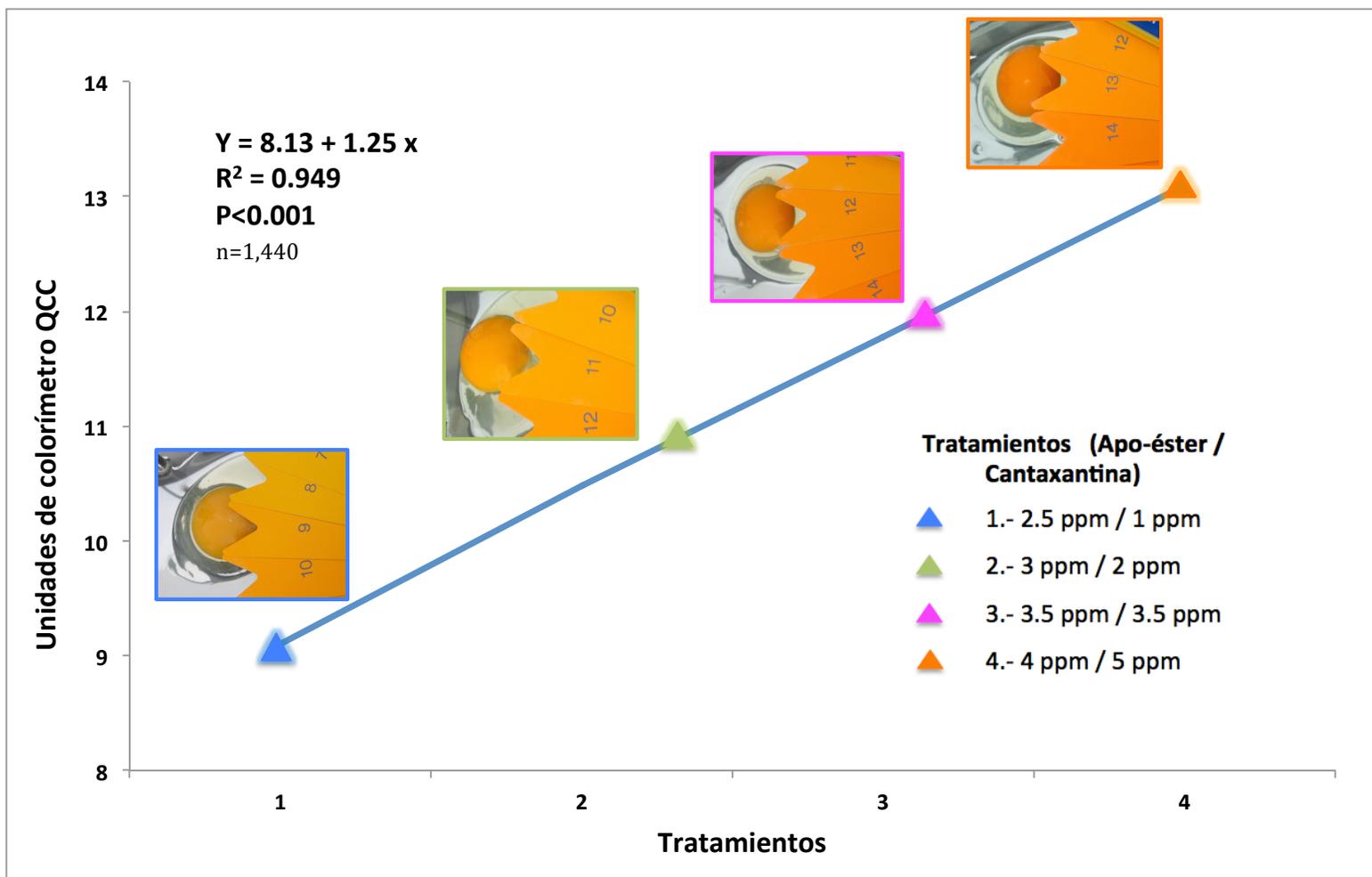


Figura 10. Datos promedio del color de la yema de 360 huevos por tratamiento utilizando el colorímetro QCC a los 70 días de experimentación.

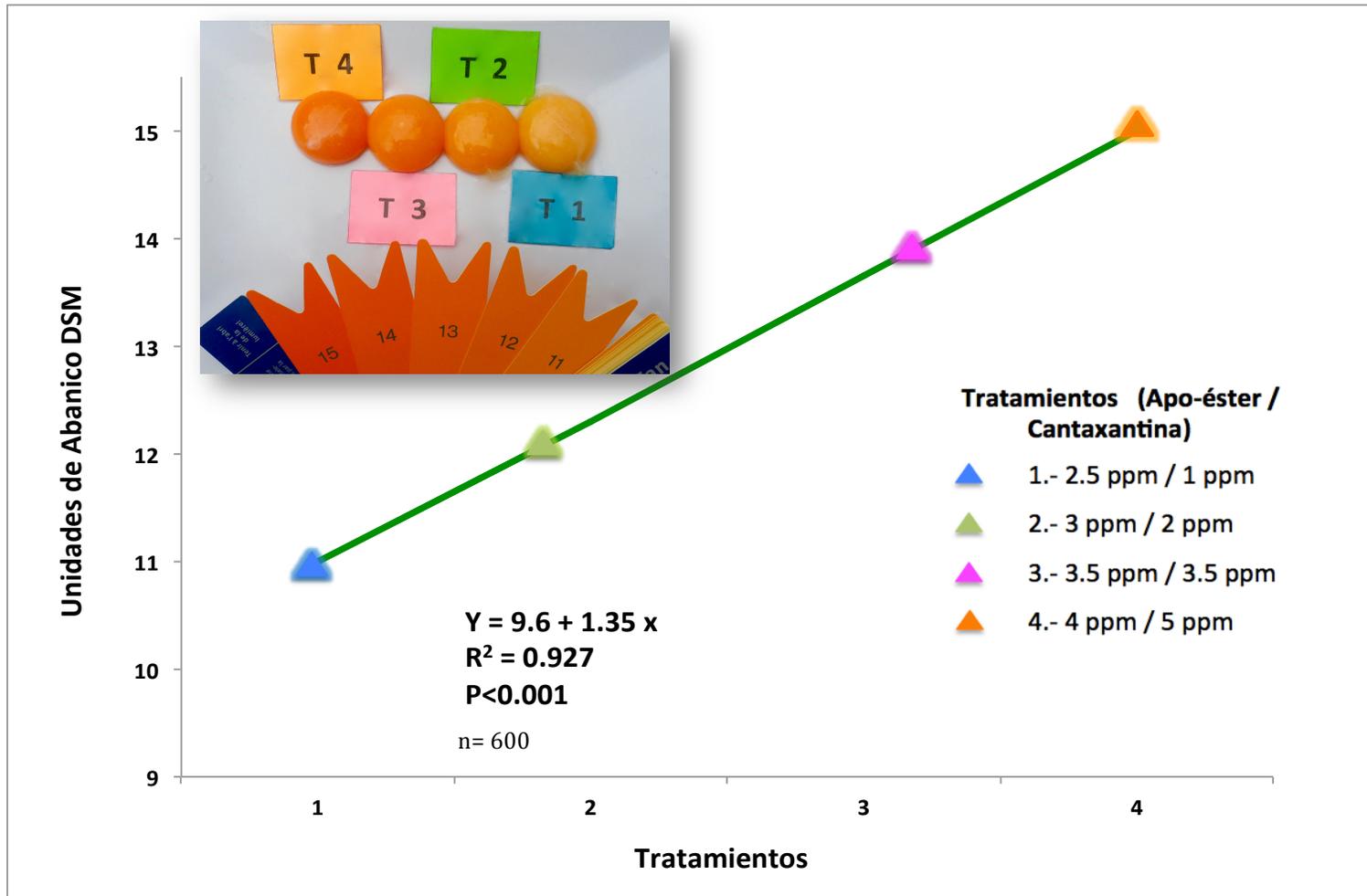


Figura 11. Datos promedio del color de la yema de 150 huevos por tratamiento a los 21 días de experimentación con el abanico DSM.

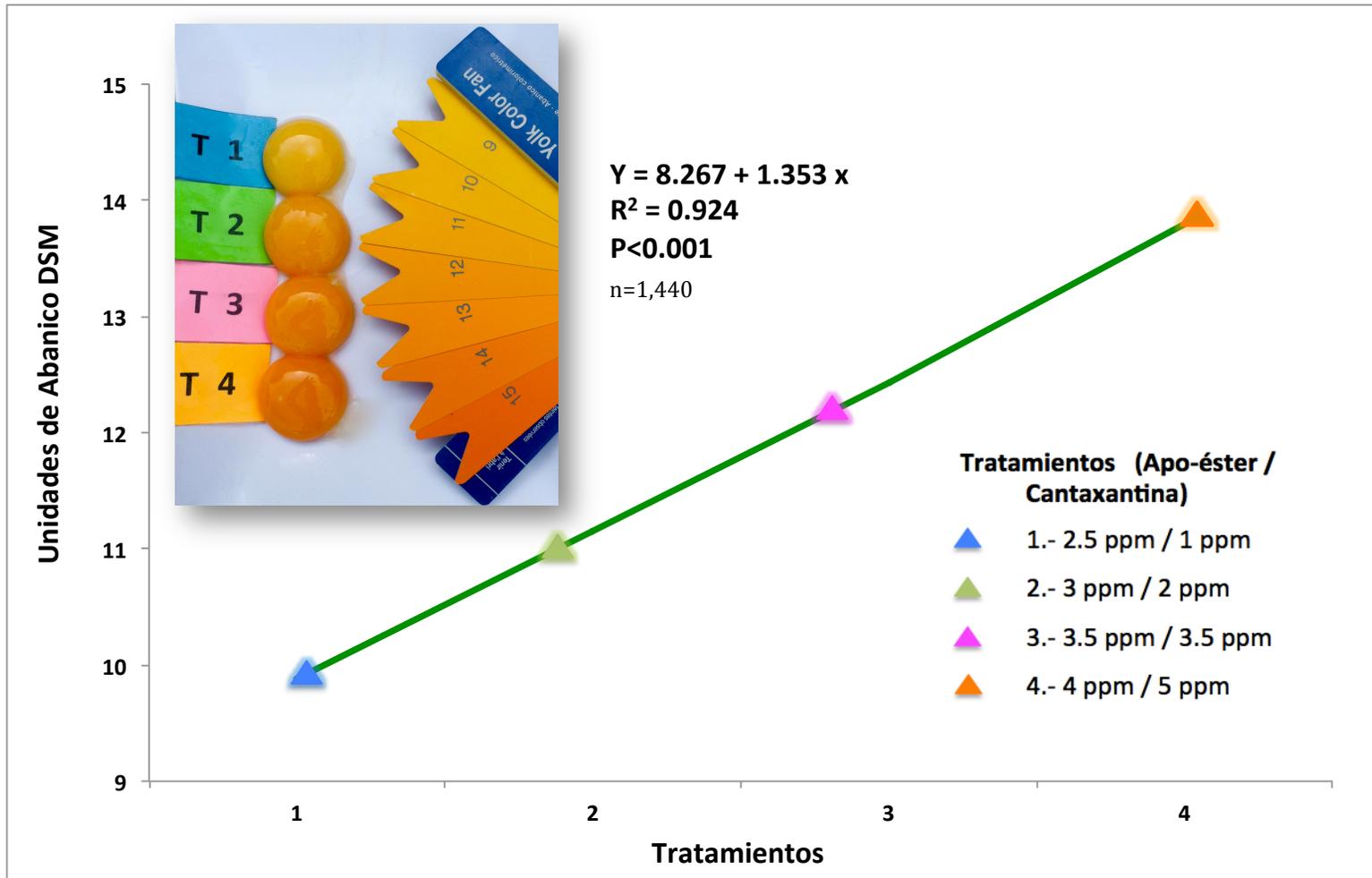


Figura 12. Datos promedio del color de la yema de 360 huevos por tratamiento a los 70 días de experimentación con el abanico DSM

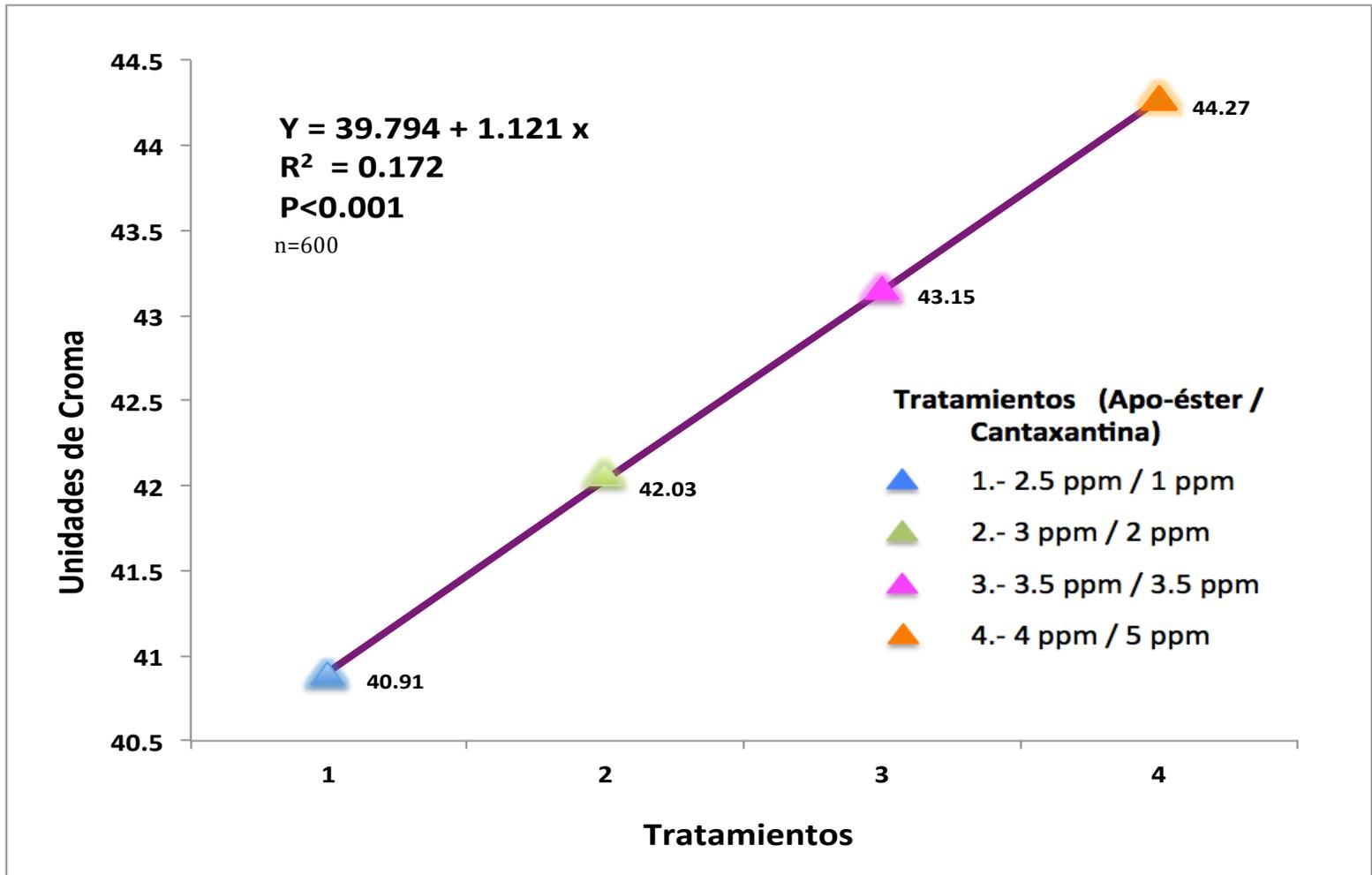


Figura 13. Datos promedio del color de la yema de 150 huevos por tratamiento a los 21 días de experimentación utilizando valores de Croma.

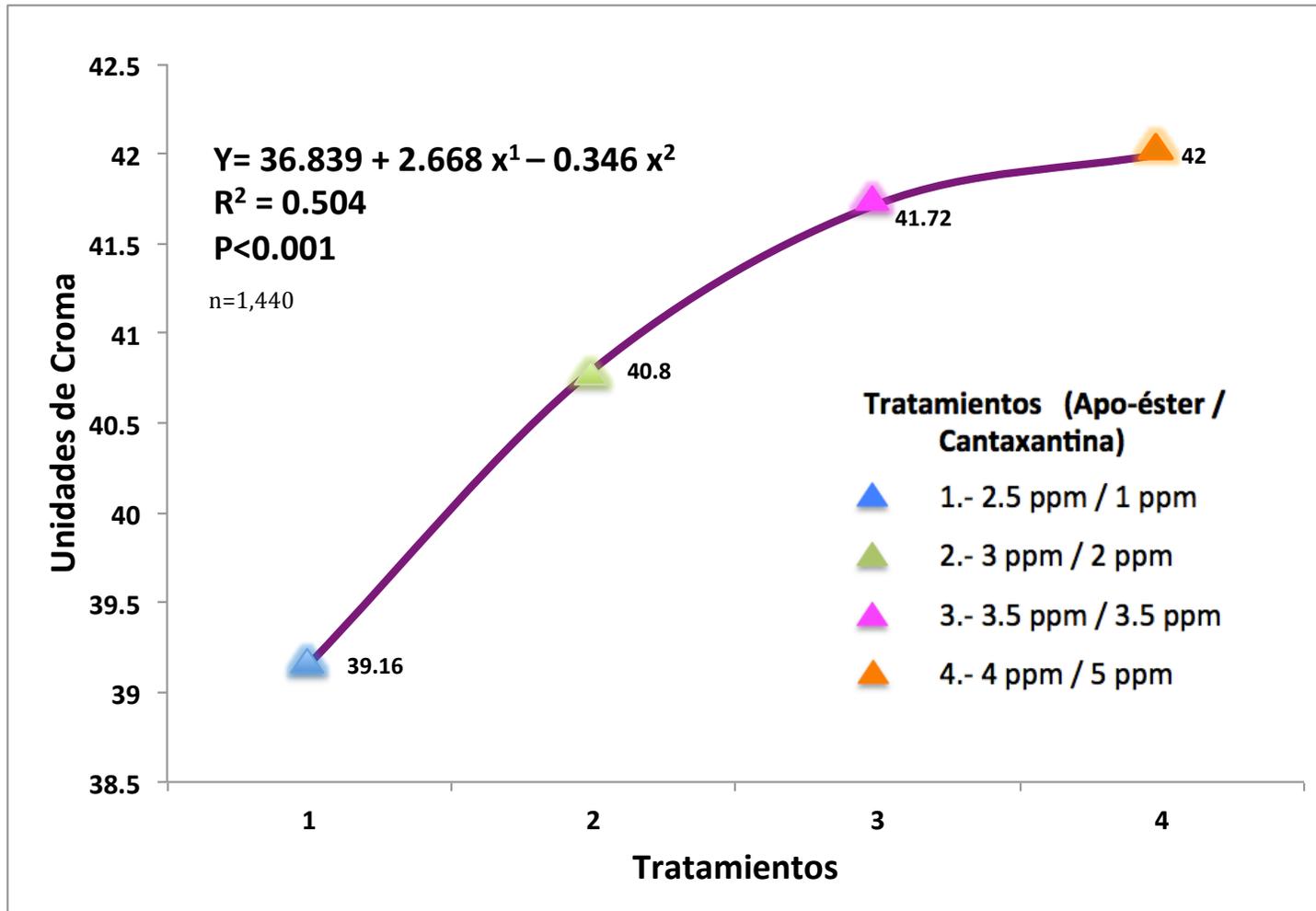


Figura 14. Datos promedio del color de la yema de 360 huevos por tratamiento a los 70 días de experimentación utilizando valores de Croma.

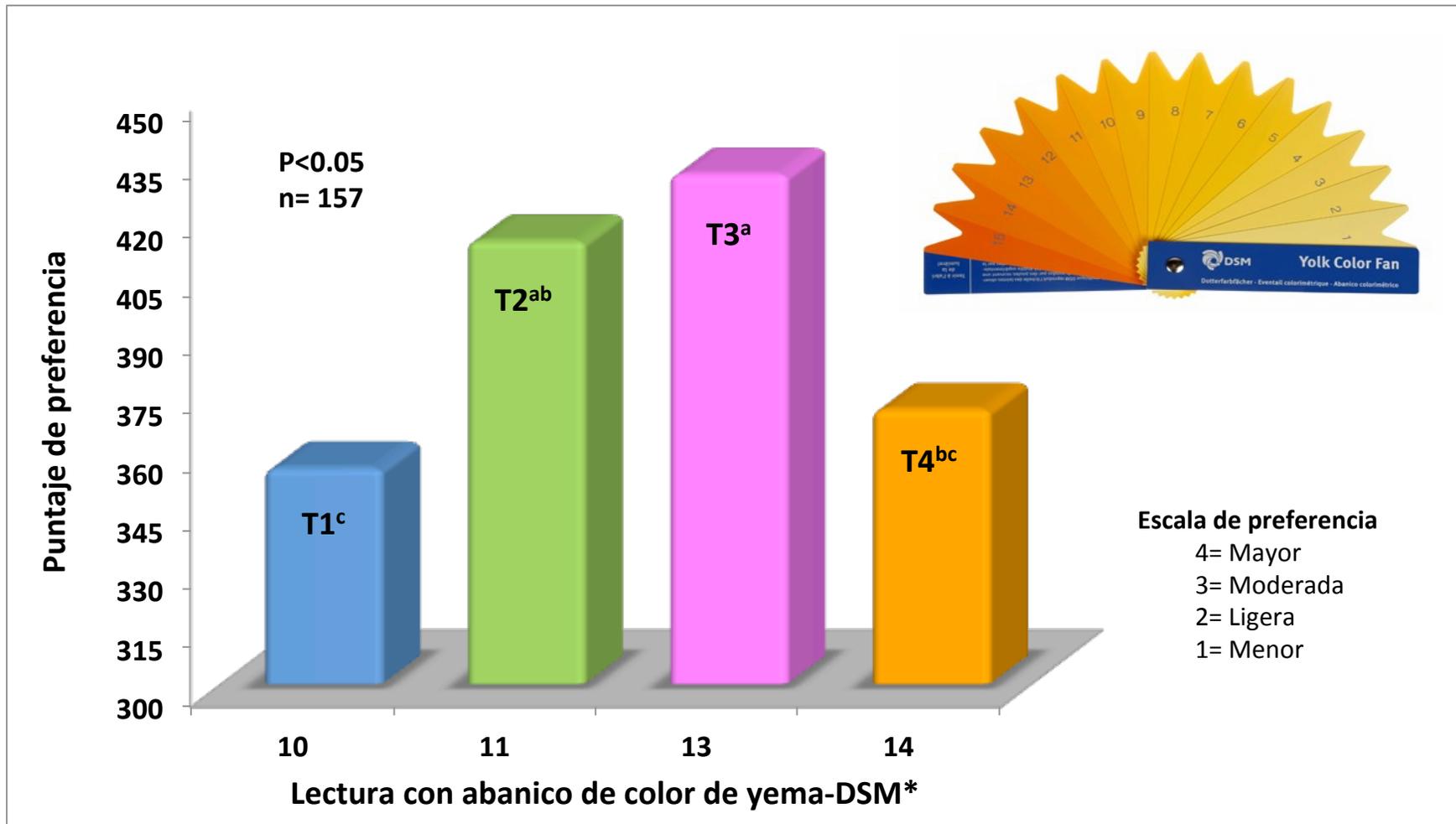


Figura 15. Preferencia del color de la yema en huevo fresco de acuerdo al abanico DSM* de 157 consumidores, conforme al puntaje total obtenido de acuerdo a la escala hedónica. Con mayor preferencia a más alta puntuación.

*Valores con distinta letra son diferentes. P < 0.05

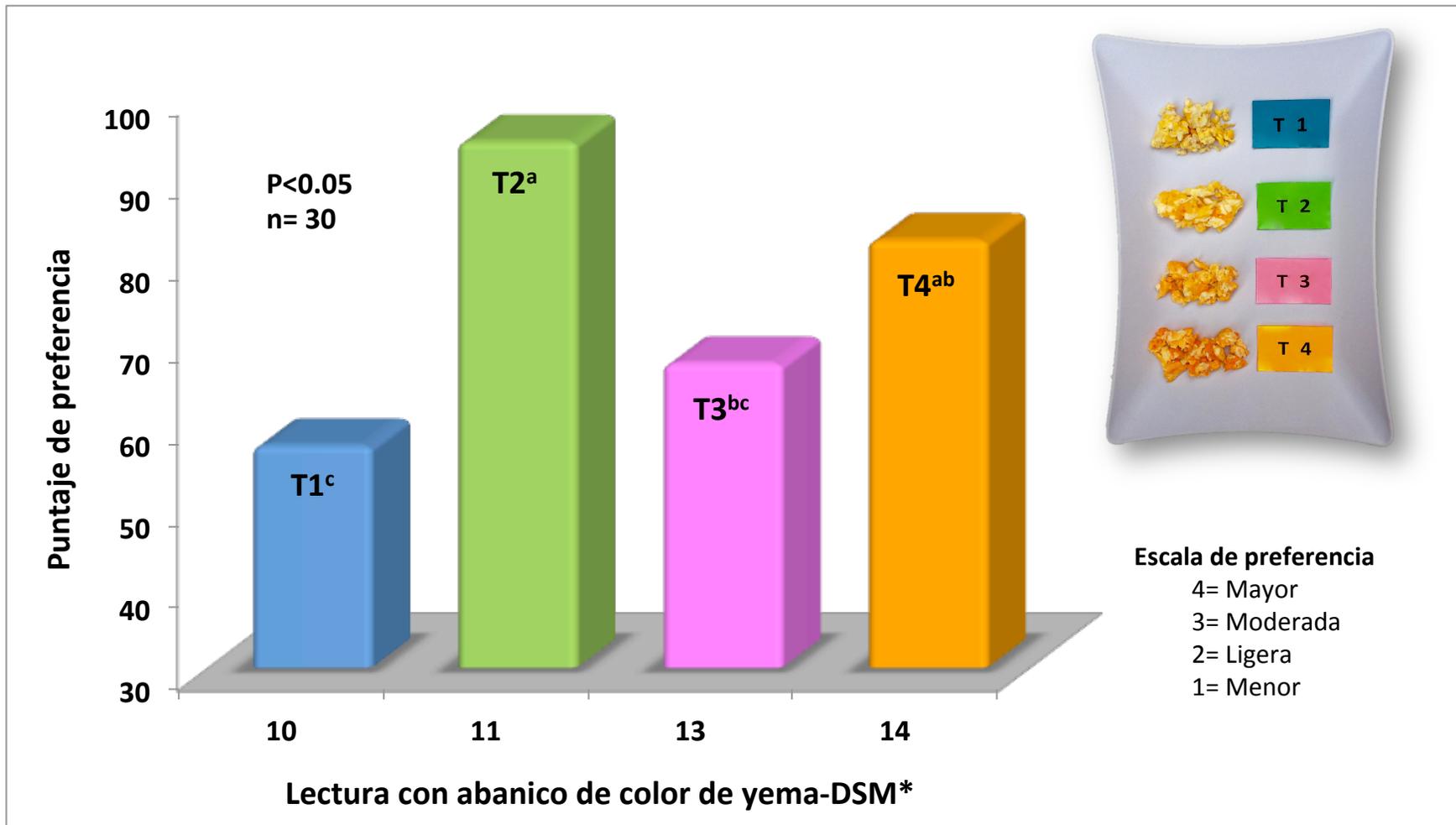


Figura 16. Preferencia del color del huevo revuelto de 30 consumidores de acuerdo al abanico DSM*. A más alto puntaje mayor preferencia.

*Valores con distinta letra son diferentes. P < 0.05

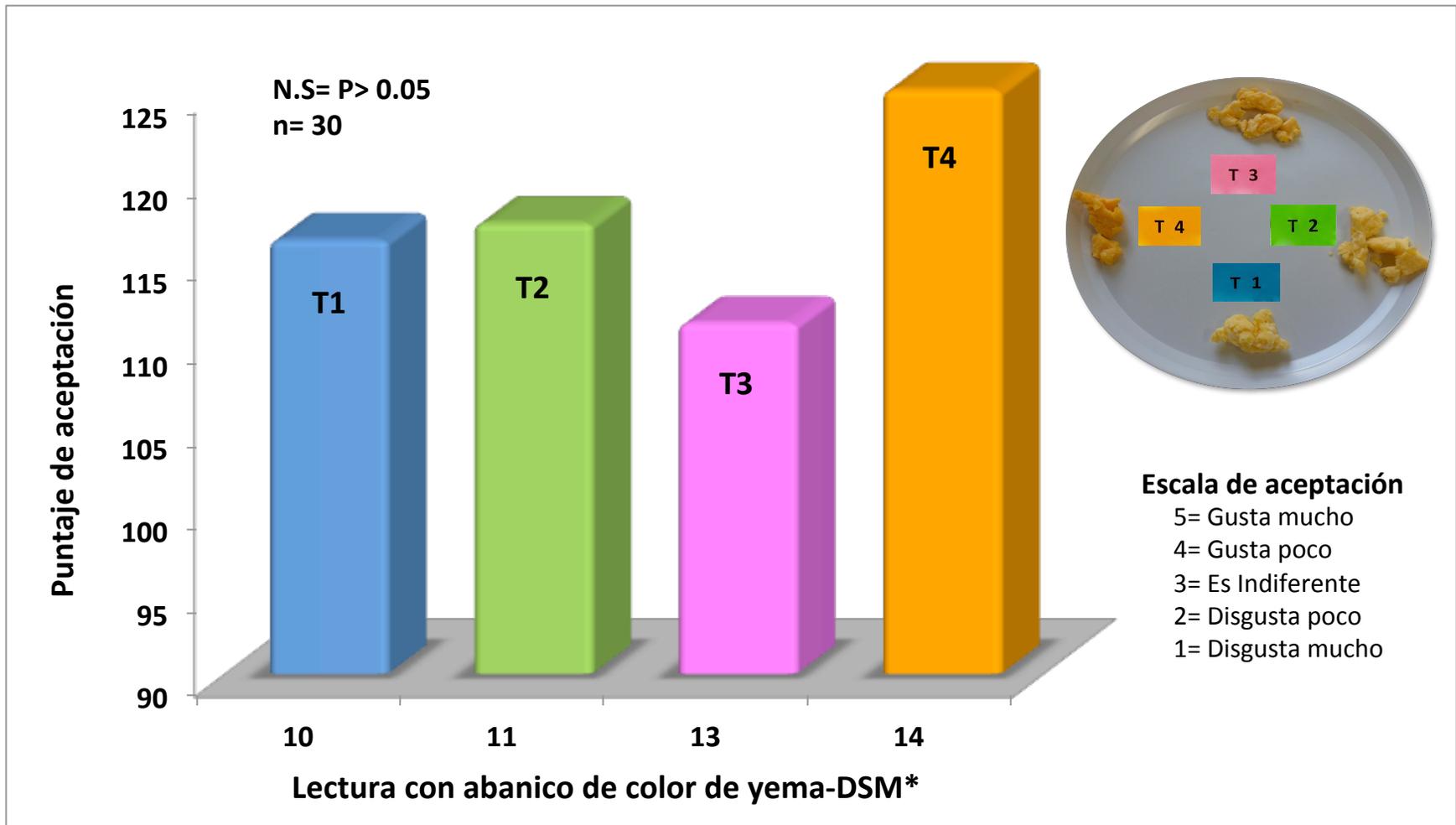


Figura 17. Resultados de aceptación del sabor en huevo revuelto de 30 consumidores de acuerdo al puntaje total obtenido conforme a la escala hedónica utilizada.

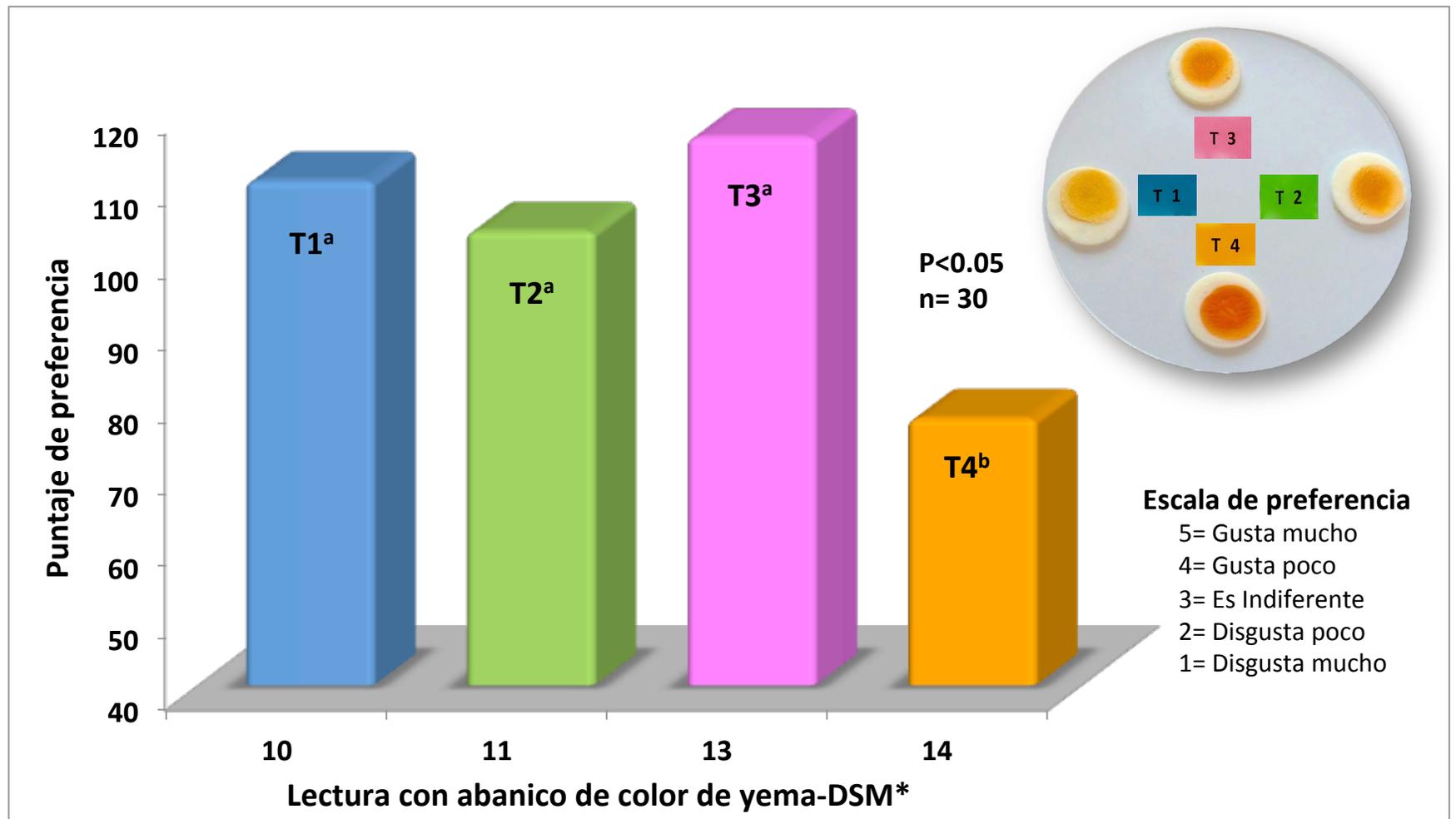


Figura 18. Color de la yema de huevo cocido y su preferencia conforme a los puntos obtenidos de acuerdo a la escala hedónica de 30 consumidores habituales de huevo.

*Valores con distinta letra son diferentes. P < 0.05

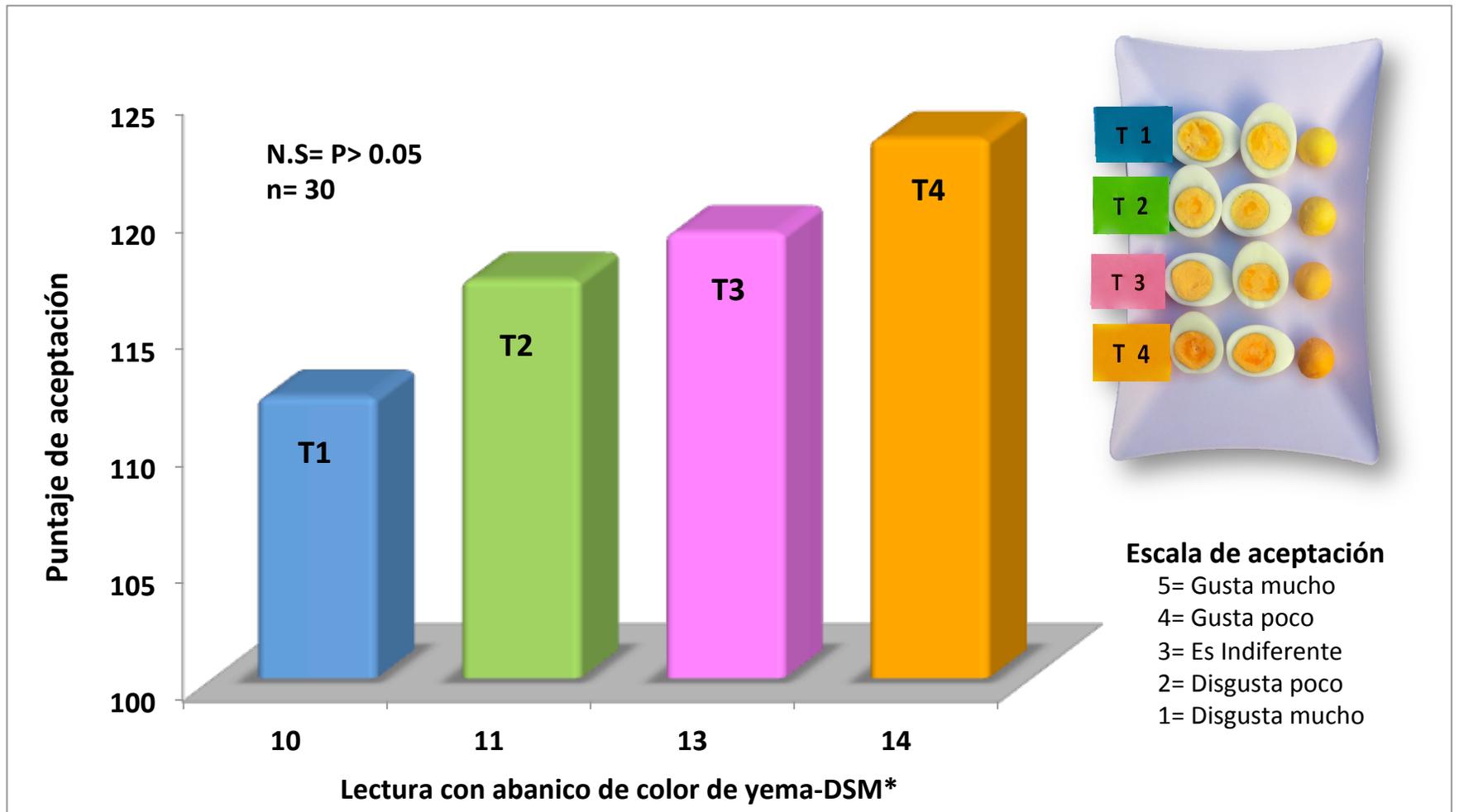


Figura 19. Datos de aceptación de sabor en huevo cocido de 30 consumidores, de acuerdo al puntaje total obtenido conforme a la escala hedónica utilizada.

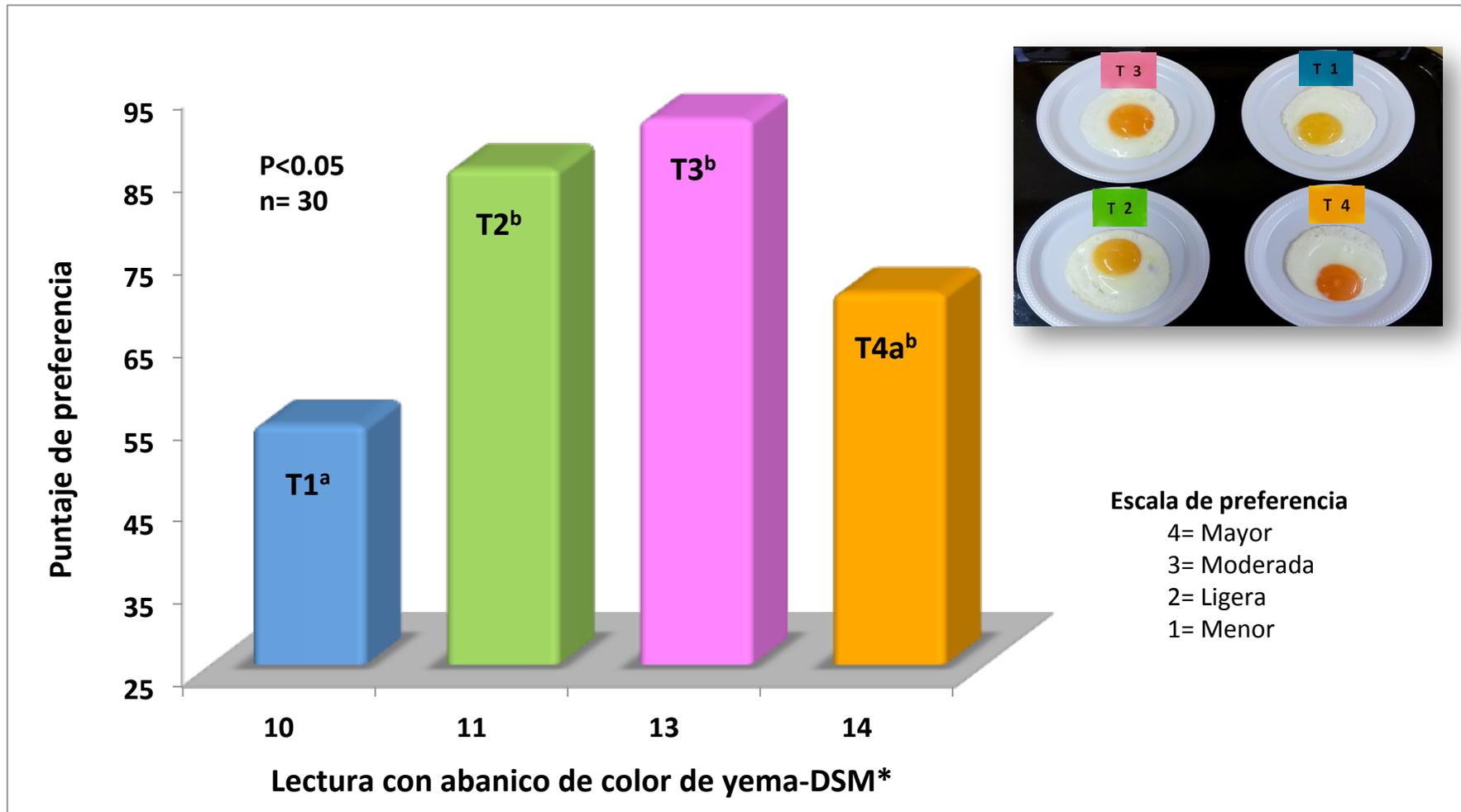


Figura 20. Resultados de preferencia del color en la yema de huevo estrellado con el abanico DSM* de 30 consumidores conforme al puntaje total de acuerdo a la escala hedónica utilizada.

*Valores con distinta letra son diferentes. P < 0.05