

Efecto de la astaxantina sobre la respuesta productiva, calidad de huevo y pigmentación de yema de huevo de gallinas de postura comercial (Effect of Astaxanthin on the Productive Response, Egg Quality and Egg Yolk Pigmentation of Commercial Laying Hens)

Salvador Tasayco, Elías¹

¹Departamento Académico de Producción Animal de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”, Ica, Perú
elias.salvador@unica.edu.pe

ABSTRACT

The color of the egg yolk is a quality parameter that influences the choice of the product by consumers, so it is important to maintain the pigmentation of the egg yolk, which is often related to the nutritional value of the eggs. The present study aimed to evaluate the productive response, egg quality and yolk pigmentation of laying hens supplemented with different levels of astaxanthin. 240 Novogen Brown hens of 58-week-old were distributed in a completely randomized design, with 5 treatments, with 4 repetitions per treatment and 12 birds per repetition. The experimental treatments consisted of a basal diet with different levels of astaxanthin (0 ppm, 2.5 ppm, 5 ppm, 7.5 ppm and 10 ppm). The characteristics of egg production, egg mass, feed consumption and feed conversion were evaluated. From 62 to 63 weeks of age, egg weight, shell percentage, albumen height, Haugh unit and yolk pigmentation were evaluated. There were no significant differences ($p > 0.05$) of the treatments in egg production, egg weight, egg mass, feed consumption, feed conversion, shell percentage, albumen height and Haugh unit. There were significant differences of the treatments ($p < 0.05$) in the pigmentation of the yolk, obtaining the highest pigmentation with the astaxanthin treatment of 10 ppm. Astaxanthin supplementation in the diet of laying hens significantly and linearly increased yolk pigmentation. This strategy can be a viable alternative to improve the pigmentation of the yolk and enrich the eggs with this antioxidant.

Keywords: laying hen; astaxanthin; diet; egg

RESUMEN

El color de la yema de los huevos es un parámetro de calidad que influye en la elección del producto por parte de los consumidores, así es importante mantener la pigmentación de la yema del huevo, el cual muchas veces se relaciona con el valor nutricional de los huevos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta productiva, calidad de huevos y pigmentación de yema de gallinas de postura suplementadas con diferentes niveles de astaxantina. 240 gallinas Novogen Brown de 58 semanas fueron distribuidas en un diseño completamente al azar, con 5 tratamientos, con 4 repeticiones por tratamiento y 12 aves por repetición. Los tratamientos experimentales consistieron en una dieta basal con diferentes niveles de astaxantina (0 ppm, 2.5 ppm, 5 ppm, 7.5 ppm y 10 ppm). Se evaluaron las características de producción de huevos, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia. De las 62 a 63 semanas de edad se evaluó el peso de huevo, porcentaje de cáscara, altura de albumen, unidad Haugh y pigmentación de yema. No hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) de los tratamientos en la producción de huevos, peso de huevo, masa de huevos, consumo de alimento, conversión alimenticia, porcentaje de cáscara, altura de albumen y unidad Haugh. Hubo diferencias significativas de los tratamientos ($p < 0.05$) en la pigmentación de la yema, obteniéndose la mayor pigmentación con el tratamiento de astaxantina de 10 ppm. La suplementación con astaxantina en la dieta de gallinas de postura incrementó significativamente y linealmente la pigmentación de la yema. Esta estrategia puede ser una alternativa viable para mejorar la pigmentación de la yema y enriquecer los huevos con este antioxidante.

Palabras claves: laying hen; astaxantina; dieta; egg

Introducción

Los carotenoides utilizados comercialmente se obtienen por vía sintética o por extracción de plantas, algunas bacterias y hongos (Galobart et al., 2004; Chandi y Gill, 2011; Magnuson et al., 2017). Se dividen químicamente en dos grupos: carotenos (hidrocarburos), que son de color naranja y las xantofilas que son derivados oxigenados de los carotenos conociéndolas como oxicarotenoides, teniendo coloraciones amarillas o rojas. El orden creciente de la capacidad de los carotenos y las xantofilas de secuestrar oxígeno y, por lo tanto, actuar como antioxidantes, es el siguiente: licopeno, astaxantina o cantaxantina, β -caroteno o bixina y luteína (Ambati et al., 2014; Rao et al., 2014).

Las gallinas de postura no pueden sintetizar estos compuestos y deben obtener carotenoides de sus dietas (Sandeski et al., 2014; Shahsavari, 2015). Numerosas fuentes de xantofilas son utilizadas para la pigmentación de la yema de huevo. Así, tradicionalmente, las fuentes de pigmento en las raciones de gallinas son el maíz amarillo y la alfalfa, que suministran los pigmentos prominentes de la yema de huevo, criptoxantina [(3R)- β , β -caroteno-3-ol], zeaxantina [3R, 3'R)- β , β -caroteno-3, 3-diol] y luteína [(3R, 3S, 6R)- β - ϵ caroteno-3, 3-diol] (Johnson, Lewis y Grau, 1980; Lokaewmanee et al., 2011; Ekmay et al., 2015). Sin embargo, su absorción directa de la dieta no es tan efectivo como el pigmentante debido a la capacidad que tienen las gallinas para convertirlo en vitamina A. Las reservas de xantófilas de los músculos y la piel se transfieren a los ovarios cuando alcanzan la madurez sexual, y algunas de ellas se eliminan en la yema del huevo, lo que determina su color (Shahsavari, 2015).

Así, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la suplementación de diferentes niveles de astaxantina en la dieta sobre la respuesta productiva, calidad interna de huevo y pigmentación de yema de huevos de gallinas de postura comercial.

Revisión de bibliografía

La astaxantina (3,3-dihidroxi- β -caroteno-4,4-diona) es un carotenoide secundario de color rojo brillante de la misma familia que el licopeno, la luteína y el β -caroteno, sintetizado de novo por algunas microalgas, plantas, levaduras, bacterias y están presentes en muchos pescados como el salmón, la trucha, el dorado, el camarón, langosta y los huevos de pescado (Higuera-Ciapara et al., 2006; Rao et al., 2014; Sandeski et al., 2014). Es un pigmento carotenoide abundante responsable del color rosado - rojo de muchos organismos marinos, incluidos los peces, aves y crustáceos. En la industria de la acuicultura, los alimentos para truchas y salmones deben complementarse con astaxantina para lograr el grado apropiado de pigmentación, pertenecen a un grupo de pigmentos naturales conocidos como carotenoides sin actividad de vitamina A (Magnuson et al., 2017).

Las astaxantinas a comparación de otros pigmentantes tienen acción única en la membrana celular, favoreciendo las funciones del organismo, esto conlleva a que se produzcan beneficios en los humanos y los animales (Kidd, 2011), así, la cabeza, la cola polar y el esqueleto lipídico de la molécula le permiten abarcar todo el ancho de la membrana celular, mejorando su permeabilidad, esto proporciona protección antioxidante en ambos lados de la membrana y en toda la bicapa lipídica al interceptar especies moleculares reactivas (McNulty et al., 2007; Kidd, 2011). Diversos estudios reportan un número de propiedades de la

astaxantina como su elevada actividad antioxidante, excelentes propiedades como agente fotoprotector (luz UV), propiedades para la salud ocular, de la piel, del corazón y a nivel celular y otros usos potenciales como anti-inflamatorio, anti-cancerígeno, desintoxicante, en enfermedades neurodegenerativas y en la respuesta inmune (Guerin, Huntley y Olaizola et al., 2003; Ekmay et al., 2015). La astaxantina tiene una fuerte actividad antioxidante, 10 veces más alta que el β -caroteno y 300 veces más efectiva que el α -tocoferol (Rao, 2009; Higuera-Ciapara, 2006).

El *Haematococcus pluvialis* es una microalga de agua dulce unicelular distribuida en muchos hábitats en todo el mundo. Es considerada como la mejor fuente natural de astaxantina y el principal organismo productor de este producto comercial (Waldenstedt et al., 2003; Rao et al., 2010). Puede acumular hasta 5% de su peso seco de astaxantina (Wayama et al., 2013). Por otra parte, Lorenz y Cysewski (2000) mencionaron, que esta microalga contiene entre 1.5 y 3% de astaxantina y ha ganado aceptación en la acuicultura y otros mercados como una forma concentrada de astaxantina natural.

Los consumidores en general toman en cuenta algunas características importantes del huevo para definir su preferencia y cada vez más son exigentes en su calidad. La pigmentación de la yema de huevo más intensa es una característica que se está posicionando en algunos segmentos de consumidores y la industria avícola debe adecuarse a esta situación y diversificar sus tipos de productos. El color de la yema de huevo es un parámetro importante para los consumidores y es producido por los pigmentos carotenoides en el alimento (Altuntas y Aydin, 2014; Shahsavari, 2015), depende además de los niveles de sustancias pigmentantes (xantofilas) del alimento, del tipo y la proporción de estos compuestos (Ekmay et al., 2015).

La modulación de las características y composición del huevo, a través de la utilización de sustancias proveniente de fuentes naturales en la dieta es de utilidad. La utilización de carotenoides como la astaxantina proveniente de harina de microalgas es una estrategia que puede enriquecer con este antioxidante el huevo y además mejorar el color de la yema de huevo, lo que permite diseñar huevos con mayor valor nutricional y con efectos beneficiosos en la salud para el consumidor (Benakmoum et al., 2013; Ekmay et al., 2015).

Métodos

Animales experimentales

El presente estudio se realizó en la unidad experimental en nutrición de gallinas de postura y el Laboratorio de investigación en Nutrición R & D de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, siguiendo todos los protocolos de bienestar animal, los cuales fueron aprobados por el Comité de Ética y Bienestar de Manejo de Animales Experimentales.

Se utilizaron 240 gallinas ponedoras de 58 semanas de edad de la línea genética Novogen Brown, las que fueron seleccionadas de acuerdo con el peso vivo homogéneo y con similar porcentaje de producción de huevos. Las aves fueron mantenidas en jaulas bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, el programa de luz siguió las recomendaciones de la

línea genética para la edad y fase de producción (Guía de Manejo Novogen, 2015). Estos datos fueron registrados diariamente.

Diseño experimental y dietas

Las gallinas fueron distribuidas en un diseño completamente al azar, considerando cinco tratamientos experimentales con 4 repeticiones cada uno; cada repetición tuvo 12 gallinas. Las aves se mantuvieron en jaulas de alambre galvanizado en un galpón convencional considerando (4 aves/casillero), es decir tres casilleros (12 aves) por cada repetición. Los tratamientos experimentales consistieron en una dieta basal con diferentes niveles de astaxantina (0 ppm, 2.5 ppm, 5 ppm, 7.5 ppm y 10 ppm).

La astaxantina (AstaFeed 10%, Seagro S.A.C, Perú) utilizada fue obtenida de la extracción del alga *Haematococcus pluvialis* y que contenía un recubrimiento de lignosulfonato, aceite de maíz y DL-alfa-tocoferol. La actividad de la astaxantina en las dietas experimentales fue analizada por Seagro S.A.C.

Antes de utilizar las gallinas para el experimento, todas ellas recibieron la misma dieta basal. Las aves fueron alimentadas con una dieta basal isoproteica e isocalórica (Tabla 1) a base de maíz, torta de soya y soya integral (Tabla 1), formulada para cumplir con todos los requerimientos de nutrientes para las gallinas ponedoras para la fase de crianza (Guía de Manejo Novogen, 2015). El agua se administró ad-libitum y la cantidad de alimento se administró diariamente de acuerdo a las recomendaciones de la guía de manejo.

Tabla 1. Composición de la dieta basal utilizada en gallinas de postura alimentadas con diferentes niveles de astaxantina

Ingredientes	Inclusión (%)¹
Maíz 7.8%	60.35
Torta de soya	19.10
Harina de soya integral	3.88
Sub-producto de trigo	3.00
Aceite de soya	2.00
Fosfato dicálcico	1.50
Sal común	0.33
Bicarbonato de sodio	0.20
Cloruro de colina (60%)	0.15
DL-metionina ^a	0.14
Carbonato de calcio grueso	6.75
Carbonato de calcio fino	2.38
Premix vitamina + minerales ^d	0.12
Secuestrante micotoxina	0.10
Astaxantina ²	-----
<i>Composición analizada³</i>	
Energía metabolizable (kcal/kg)	2800
Extracto etéreo (%)	5.67

Proteína cruda (%)	16.00
Fibra cruda (%)	2.63
Materia mineral (%)	2.31
Calcio (%)	3.85
Fósforo total (%)	0.58

¹Valores expresados tal como ofrecido.

²Astaxantinas: corresponde a los niveles incluidos en la dieta basal, respecto a los tratamientos experimentales. T-1: 0 mg; T-2: 2.5 ppm de dieta, T-3: 5 ppm de dieta, T-4: 7.5 ppm de dieta y T-5: 10 ppm de dieta.

³Nutrientes obtenidos a partir de su determinación analítica proximal en los principales insumos de las dietas.

^aDL Metionina sintética 99%

^dPremix vitamina + minerales: Vitamina A, 10 000000 UI; vitamina D, 3000000 UI; vitamina E, 15000 UI; vitamina K, 2.5 g; vitamina B2, 4 g; Niacina, 20 g; ácido pantoténico, 6 g; ácido fólico, 0.5 g; vitamina B12, 12 mg; biotina 100 mg; manganeso 60 g; zinc 45 g; hierro 40 g; cobre 5 g; yodo 1 g; selenio 100 mg.

Evaluación de la respuesta productiva, calidad de huevo y pigmentación de la yema de huevo

Se realizó una fase de adaptación de cuatro semanas a las dietas experimentales, es decir, desde las 58 a 62 semanas de edad las aves recibieron las dietas experimentales que contenían los diferentes niveles de astaxantinas, después de esa fase de adaptación, a las 62 a 63 semanas de edad se evaluaron las características de respuesta productiva como, producción de huevo, peso de huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia, las características de calidad de huevo como porcentaje de cáscara, altura de albumen, unidad Haugh y la pigmentación de yema. En ese periodo se seleccionaron aleatoriamente todos los días (por seis días consecutivos) dos huevos por cada repetición. Los huevos fueron identificados y almacenados a temperatura ambiente (25°C). Cada huevo se pesó individualmente utilizando una balanza digital con precisión de 0,001 g (Gram FC-200, Barcelona, España). Los huevos fueron quebrados en la parte media y fueron colocados sobre una plataforma de vidrio plana de 20 x 20 cm con fondo blanco y la altura de la albúmina se midió a 1 cm la yema, utilizando un micrómetro digital Lcd con escala electrónica Caliper (Mein HERZ), con precisión de 0.01 mm. Las unidades Haugh (UH) se obtuvieron mediante la conversión de la altura de la albúmina y peso de huevo utilizando la metodología de Cotta (1997).

El color de yema (Vuilleumier, 1969) se determinó utilizando el abanico de DSM (Yolk fan), con una escala de 0 a 15, considerando la medida visual (Latscha, 1990), de acuerdo con el número del color del abanico, para esto una sola persona realizó la evaluación visual, considerando un mismo ambiente, temperatura del laboratorio y misma hora del día. La cáscara se secó por 4 horas en la estufa a 60 °C, se retiró la cutícula y se evaluó el grosor de la cáscara en 4 puntos, en los extremos y a 0.5 cm del borde quebrado usando un micrómetro digital (Mein HERZ) con precisión de 0.01 mm.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro Wilk, posteriormente se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía utilizando el procedimiento de modelos lineales generales (GLM) del software SAS (Statistical Analysis Software, versión 9.2). Las diferencias se consideraron significativas a $p < 0.05$. Las diferencias significativas entre los tratamientos se determinaron mediante la prueba de Duncan a $p < 0.05$. Los resultados resumidos en la tabla se presentan como promedios y la desviación estándar de la media (\pm SD). Los datos de porcentajes fueron transformados a valores arco seno para poder realizar el análisis estadístico de los datos.

Resultados

En la tabla 2 se observan los resultados de la respuesta productiva, donde los diferentes niveles de astaxantina en la dieta no afectaron significativamente ($P > 0.05$) la respuesta productiva de producción de huevos, peso de huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia.

Tabla 2. Efecto de diferentes niveles de astaxantina en la dieta sobre producción de huevo, consumo de alimento, masa de huevo y conversión alimenticia

Astaxantina ¹ (ppm de dieta)	Producción de huevo (%)	Peso de huevo (g)	Masa de huevo (g/día)	Consumo de alimento (g/ave/día)	Índice de conversión alimenticia (g/g)
0	87.77 ^a ± 2.10	69.34 ± 1.04	60.87 ^a ± 1.77	115.70 ^a ± 1.25	1.90 ^a ± 0.051
2.5	88.33 ^a ± 1.09	70.14 ± 1.54	61.96 ^a ± 1.68	116.42 ^a ± 1.27	1.87 ^a ± 0.039
5	88.24 ^a ± 1.62	68.79 ± 2.56	60.73 ^a ± 3.06	116.44 ^a ± 1.82	1.92 ^a ± 0.108
7.5	88.32 ^a ± 0.84	68.56 ± 1.87	60.56 ^a ± 2.00	116.44 ^a ± 1.40	1.92 ^a ± 0.052
10	88.33 ^a ± 1.58	67.99 ± 2.47	60.05 ^a ± 2.35	116.99 ^a ± 0.52	1.95 ^a ± 0.076
Probabilidad	0.9797	0.6179	0.8105	0.7515	0.6919

¹Tratamientos experimentales. T-1: 0 mg; T-2: 2.5 ppm de dieta, T-3: 5 ppm de dieta, T-4: 7.5 ppm de dieta y T-5: 10 ppm de dieta.

^(a)Letras comunes como superíndice en los promedios de cada columna, indican diferencia no significativa a la prueba de Duncan ($p > 0.05$).

En la tabla 3 se observan los resultados de los diferentes niveles de astaxantina utilizadas en las dietas experimentales sobre características de calidad de huevo. La inclusión de astaxantina no afectó significativamente ($p > 0.05$) el porcentaje de cáscara, la altura de albumen y las unidades Haugh.

Sin bien el efecto no fue significativo, se observa que hubo diferencias numéricas entre los tratamientos experimentales, así, la altura de albumen fue mayor con el nivel de 7.5 ppm que corresponde a un 14.14% de aumento respecto al control. Los valores de las unidades Haugh

fueron mayores con el nivel de 7.5 ppm de astaxantina que corresponde a 7.28% de aumento comparado al control.

En cuanto a la pigmentación de la yema de huevo fue afectado significativamente ($p < 0.05$), lo que fue incrementado linealmente conforme aumentó el nivel de astaxantina en la dieta. El nivel de 10 ppm de astaxantina logro el máximo score de pigmentación de yema (13.50), lo que representa un aumento de 128% comparado al control (5.91). En este rango de dosis utilizadas, determinar la dosis optima de astaxantina dependerá del grado de pigmentación deseada.

Tabla 3. Efecto de diferentes niveles de astaxantina en la dieta sobre algunas características de calidad de huevo

Astaxantina ¹ (ppm de dieta)	Cáscara (%)	Albumen Altura (mm)	Unidad Haugh	Color de yema
0	10.79 ±0.95	7.99 ±0.56	86.86 ±3.26	5.91 ^d ±1.10
2.5	11.04 ±1.12	8.81 ±0.87	91.09 ±5.01	9.91 ^c ±0.41
5	11.45 ±1.51	8.64 ±1.05	90.44 ±5.61	11.83 ^b ±0.57
7.5	11.22 ±1.61	9.12 ±0.68	93.19 ±3.30	12.75 ^{ab} ±0.16
10	11.27 ±0.81	8.57 ±1.29	90.06 ±7.60	13.50 ^a ±0.33
Probabilidad	0.9548	0.5524	0.5633	<.0001

¹Tratamientos experimentales. T-1: 0 mg; T-2: 2.5 ppm de dieta, T-3: 5 ppm de dieta, T-4: 7.5 ppm de dieta y T-5: 10 ppm de dieta.

(a,b,c,d) Letras diferentes como superíndice en los promedios de cada columna, indican diferencia significativa a la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

Discusión

En base a las propiedades antioxidantes de la astaxantina se pensó que podría contribuir a fortalecer la capacidad antioxidante de las aves que frecuentemente están experimentando desafíos estresantes y mejorar la respuesta, sin embargo, bajo las condiciones del estudio no se pudo demostrar, probablemente la dieta y las condiciones fueron suficientes para mantener la respuesta productiva. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Walker et al. (2012), quienes utilizando dietas enriquecidas con astaxantina no encontraron efecto significativo ($P > 0.05$) sobre la producción de huevos y consumo de alimento de gallinas de postura.

Los huevos contienen niveles relevantes de ácidos grasos, proteínas, vitaminas y minerales. El color de la yema es un parámetro de calidad que influye en la elección del producto por parte del consumidor. Hay una preferencia por las yemas altamente pigmentadas, ya que, existe una asociación entre el color de la yema y su cantidad de vitaminas (García et al., 2002; Walker et al., 2012). Tal como lo menciona Wayama et al. (2013) el alga *Haematococcus pluvialis* puede acumular hasta 5% de materia seca de astaxantina y se considera la mejor fuente natural de este pigmento carotenoide de alto valor biológico y que puede mejorar la coloración de la yema de huevo.

Yang et al. (2006) lograron un pequeño incremento en la altura de la yema y la unidad Haugh con el aumento de astaxantina en la dieta en gallinas ponedoras comerciales de 55 semanas de edad fueron alimentadas con cinco dietas diferentes: control a base de harina de maíz y soja, dieta control con dos niveles (70 y 140 ppm) de PC y dieta control con dos niveles de mezcla. entre los pigmentos comerciales sintéticos amarillo y rojo Carophyll® (20 + 10 ppm) y (15 + 30 ppm) y cuatro repeticiones de 12 aves cada uno. Los autores no encontraron efectos significativos en el peso de los huevos, ni en las Unidades Haugh, sin embargo, a medida que aumentaba los niveles de los pigmentantes, se observó mayor coloración de la yema de los huevos. Del mismo modo, los resultados en cuanto al peso y a las unidades Haugh encontradas en el presente estudio fueron similares a los valores encontrados por Carrillo-Domínguez et al. (2005) los cuales incluyeron en la dieta de gallinas, la harina del camarón rojo, encontrando solo diferencias numéricas, mas no significativas en los pesos y Unidades Haugh, mencionando que la coloración de la yema aumentaba conforme aumentaban los niveles de la harina de camarón.

La preferencia de color de la yema varía entre los países, el maíz solo no agrega suficiente color a la yema que sea satisfactorio para el consumidor (Roberts, 2004; Bedecarrats et al., 2006). Al agregar estos suplementos sintéticos u otros suplementos naturales al alimento, se pueden satisfacer las diferentes demandas del mercado. Complementariamente, la naturaleza de los ingredientes alimenticios y la eficiencia de incorporación del pigmento dietario en la yema de huevo son factores que también se debe considerar. Este resultado concuerda con el trabajo de Lee et al. (1999), quienes encontraron que conforme aumentaba el nivel de astaxantina producía un incremento lineal en la coloración de la yema de huevo en comparación con los huevos de las gallinas ponedoras alimentadas con dieta libre de astaxantina.

Akiba et al. (2000) utilizaron concentraciones muy bajas de astaxantina, 0, 2, 4, 8 y 16 ppm provenientes del alga *Phaffia rhodozyma* durante cuatro semanas, para alimentar a las gallinas y determinar la calidad interna del huevo, los autores evidenciaron que el puntaje de color de la yema aumentó de 6.6 (amarillo dorado) a 12.7 (naranja) en el abanico de color Roche, a una mayor dosis de astaxantina comparado con la dieta control. Ya en un estudio realizado por Roberts y Ball (2000), utilizando la dosis de 6 mg de astaxantina/kg de dieta lograron un score de color de yema entre 10 y 11 en la escala de color de Roche, que es el color preferido por los consumidores de Australia, mientras que en el presente estudio se logró el nivel de 11.83 con una dosis menor que fue de 5 ppm de astaxantina.

Estudios realizados por Takahashi et al., (2004) utilizando el alga *Haematococcus pluvialis* como fuente de astaxantina en pollos de engorde, encontraron que la astaxantina fue transportados a diferentes tejidos como el músculo, huevos y plasma sanguíneo, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el peso de las aves, ni el peso de los huevos, pero si se evidenció mayor coloración en aquellas aves que consumieron las algas en comparación con las aves control. Mientras que, Lorenz y Cysewski (2000) evaluaron la harina de alga *Haematococcus* como aditivo en la dieta comercial para pigmentar la yema. Las aves recibieron alimentos que contenían 0, 4, 8 o 12 ppm de astaxantina. El aumento en la pigmentación de la yema de huevo se hizo evidente después de solo 5 días y alcanzó un

balance después de 15 días con puntuaciones de color de yema de huevo de 3.86, 7.68, 12.10 y 12.74 para los cuatro grupos, respectivamente. No hubo diferencias significativas en la calidad de la cáscara del huevo, el peso del huevo, el peso de la yema, el porcentaje de yema, la reflectividad de la cáscara o la resistencia a la rotura dentro de los cuatro grupos, aunque las observaciones revelaron que los huevos del nivel más alto de harina de algas *Haematococcus* tenían una membrana perivitelina más gruesa en comparación con el control grupo.

Por otra parte, Las tasas de deposición calculadas para la astaxantina varían mucho entre las fuentes de la literatura. La razón puede ser que las fuentes de astaxantina (*Phaffia*, harina de camarón y sintético) difieren notablemente en pureza y biodisponibilidad. Estas tasas de deposición en la literatura son difíciles de resumir y comparar, ya que, se han incluido muchos factores diferentes en los experimentos y no se proporciona toda la información para calcular las tasas de deposición a partir de los contenidos medidos en yemas de huevo con suficiente precisión (European Food Safety Authority, 2005; Orosa et al., 2005). Se ha demostrado que la tasa de deposición de los carotenoides, calculada a partir de la ingesta de alimento y la retención en yemas de huevo, es aproximadamente 16% con 2 a 20 de astaxantina/ kg de dieta (Elwinger, Lignell y Wilhelmson, 1997; Yasunouri et al., 2005). Así también, se demostró la importancia de la alimentación con células de algas agrietadas (en comparación con las células intactas), esto permite un aumento de 20 veces en la biodisponibilidad, mejorando la calidad nutricional de los huevos (Elwinger, Lignell y Wilhelmson, 1997).

Una yema de huevo con una puntuación de color de 13 DSM-YCF puede contener aproximadamente 55 µg de astaxantina cuando se complementa la dieta con 16 mg de astaxantina kg⁻¹ mediante el uso de *Phaffia rhodozyma* (Akiba et al., 2000).

La harina de cabezas de camarón como fuente de astaxantina incluida a niveles del 25% da como resultado aproximadamente 4 mg de astaxantina en la yema (Carranco et al., 2003). Para mantener una intensidad de puesta y calidad de huevo se requiere un sistema antioxidante eficiente. Los antioxidantes naturales juegan un papel importante en la producción avícola. En el cuerpo, todos los antioxidantes trabajan juntos para crear el sistema antioxidante. Existe un delicado balance entre la cantidad de radicales libres generados en el cuerpo y los antioxidantes para protegerlos y la interrupción de dicho desbalance provoca un estrés oxidativo (Surai et al., 2016). Dado su propiedad de antioxidante, la suplementación de las dietas con astaxantina podría contribuir con el sistema antioxidante de la gallina de postura.

Según el estudio de Lorenz y Cysewski (2000), el aumento de pigmentación de la yema de huevo indicó la deposición de astaxantina en la yema. Este resultado podría sustentar, que los huevos con alta pigmentación de la yema encontradas en el presente estudio serian fuentes de astaxantina que proporcionarían capacidad antioxidante a las personas que consumen huevo. En la actualidad, las personas frecuentemente experimentan desafíos a nivel laboral, estudio o estado de enfermedad, lo que aumenta posibilidades de estrés y conlleva al estrés oxidativo, con consecuencias perjudiciales para la salud. El estrés oxidativo nutricional puede ser inducido por un desbalance entre la defensa antioxidante y la carga prooxidante causada por

un suministro inadecuado o excesivo de nutrientes que resulta de una dieta pobre o malos hábitos alimenticios (Saha et al., 2017). Esta condición es un importante contribuyente a la patogénesis de diversas enfermedades humanas, así como al proceso de envejecimiento. El aumento del estrés oxidativo puede dañar las mitocondrias, y la disfunción mitocondrial posterior genera excesos de especies de oxígeno reactivo mitocondrial que causan daño celular. La astaxantina, ejerce un efecto antioxidante y antiinflamatorio en varias líneas celulares. De esta manera, la astaxantina mantiene la integridad mitocondrial en diversas condiciones patológicas (Kim and Kim, 2018).

Un estudio de Park et al. (2010) demostraron que la astaxantina en la dieta mejoró la respuesta inmune y disminuyó el biomarcador de daño oxidativo del ADN y la inflamación en mujeres jóvenes sanas, indicando que la astaxantina es un carotenoide natural bioactivo que puede ser importante para la salud humana.

Finalmente, la astaxantina ha atraído cada vez más atención como una molécula efectiva para prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento y mediadas por el estrés oxidativo. Tiene un papel neuroprotector y puede prevenir el fotoenvejecimiento de la piel. Varios estudios han demostrado que la cantidad excesiva de ROS está involucrada en el desarrollo y la progresión de enfermedades crónicas, incluida la patogénesis de la resistencia a la insulina y la diabetes tipo 2 (Sztretye et al., 2019), por lo que, el enriquecimiento del huevo con astaxantina podría ser una alternativa para mejorar la salud de las personas.

Conclusión

La suplementación con astaxantina en la dieta de gallinas de postura no afectó la respuesta productiva y calidad de huevo, pero incremento significativa y linealmente la pigmentación de la yema de huevo. Lograr el score de pigmentación óptimo dependerá del nivel de astaxantina y de la preferencia del consumidor. Esta estrategia puede ser una alternativa viable para mejorar la pigmentación de la yema y enriquecer los huevos con este antioxidante teniendo en cuenta la calidad, disponibilidad, nivel de inclusión y costo, ya que, el uso de las astaxantinas tiene resultados positivos en la coloración de las yemas.

Agradecimiento:

Agradecimiento especial a los estudiantes del semillero de investigación Club IDI en Ciencia Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga – Ica – Perú.

Referencias

- [1] Akiba, Y., Sato, K., Takahashi, K., Takahashi, Y., Furuki, A., Konashi, S., Nishida, H., Tsunekawa, H., Haysaka, Y. y Nagao, H. (2000) Pigmentation of egg yolk with yeast *Phaffia rhodozyma* containing high concentration of astaxanthin in laying hens fed on low carotenoid diet. Japan Poultry Science Association [en línea], 37 (2), 77-85. Disponible en <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP2000003542> [consulta: 20 setiembre 2019].

- [2] Altuntas, A. y Aydin, R. (2014) Fatty Acid Composition of Egg Yolk from Chickens Fed a Diet including Marigold (*Tagetes erecta* L.). *Journal of Lipids* [en línea], 5 (1), 1-4. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/270909179_Fatty_Acid_Composition_of_Egg_Yolk_from_Chickens_Fed_a_Diet_including_Marigold_Tagetes_erecta_L [consulta: 2 de octubre 2019].
- [3] Ambati, R.R., Phang, S.M., Ravi, S. y Aswathanarayana, R.G. (2014) Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications. *Marine Drugs* [en línea], 12 (1) 128-152. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24402174> [consulta: 2 setiembre 2019].
- [4] Bedecarrats, G.Y. y Leeson, S. (2006) Dietary lutein influences immune response in laying hens. *Journal of Applied Poultry Research* [en línea], 15 (2), 183-189. Disponible en <https://academic.oup.com/japr/article/15/2/183/750778> [consulta: 5 de setiembre 2019].
- [5] Benakmoum, A., Larid, R., Zidani, S. y Experiment, A.F. (2013). Enriching Egg Yolk with Carotenoids & Phenols. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* [en línea], 7 (7), 205-209. Disponible en https://pdfs.semanticscholar.org/c3ab/dc8e8fda9a963ca95de7bcfa9a070f53d9ea.pdf?_ga=2.21188921.34995603.1576492733-2081357186.1576492733 [consulta: 5 de setiembre 2019].
- [6] Carranco, M.E., Calvo, C., Arellano, L., Pérez-Gil, F., Ávila, E. y Fuente, B. (2003) Inclusión de la harina de cabezas de camarón *penaeus* sp. en raciones para gallinas ponedoras. Efecto sobre la concentración de pigmento rojo de yema y calidad de huevo. *Interciencia* [en línea], 28 (6), 328-332. Disponible en <https://academic.oup.com/japr/article/15/2/183/750778> [consulta: 6 de octubre 2019].
- [7] Carrillo-Domínguez, S., Carranco-Jauregui, M.E., Castillo-Domínguez, R.M., Castro-González, M.I., Avila-González, E. y Pérez-Gil, F. (2005). Cholesterol and n-3 and n-6 fatty acid content in eggs from laying hens fed with red crab meal (*Pleuroncodes planipes*). *Poultry Science* [en línea], 84 (1), 167-172. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15685957> [consulta: 2 de octubre 2019].
- [8] Chandi, G.K. y Gill, B.S. (2011) Production and characterization of microbial carotenoids as an alternative to synthetic colors: A Review. *International Journal of Food Properties* [en línea], 14 (3), 503-513. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942910903256956> [consulta: 6 de octubre 2019].
- [9] Cotta, T. (1997) *Reprodução da galinha e produção de ovos*. 1era ed. Brasil: Lavras.
- [10] Ekmay, R., Chou, K., Magnuson, A. y Lei, X.G. (2015). Continual feeding of two types of microalgal biomass affected protein digestion and metabolism in laying hens. *Journal of Animal Science*, 93 (1), 287-297. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25568377> [consulta: 2 de octubre 2019].
- [11] Elwinger, K., Lignell A. y Wilhelmson, M. (1997) Astaxanthin rich algal meal (*Haematococcus pluvialis*) as carotenoid source in feed for laying hens. En: *British Library Conference (ed), Proceedings of the VII European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products*, Poznan.
- [12] European Food Safety Authority. (2005) *Opinion of the Scientific Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed on the request from the European Commission on the safety of use of colouring agents in animal nutrition Part I. General Principles and*

- Astaxanthin, *The EFSA Journal* [en línea], 291 (1), 1-40. Disponible en <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/291> [consulta: 2 de octubre 2019].
- [13] Galobart, J., Sal, R., Rincon-Carruyo, X., Manzanilla, G.E. y J. Gasa. (2004) Egg yolk color as affected by saponification of different natural pigmenting sources. *Journal of Applied Poultry Research* [en línea], 13 (2), 328-334. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/237683725_Egg_Yolk_Color_as_Affected_by_Saponification_of_Different_Natural_Pigmenting_Sources [consulta: 2 de octubre 2019].
- [14] Garcia, E.A., Mendes, A.A., Pizzolante, C.C., Gonçalves, H.C., Oliveira, R.P. y Silva, M.A. (2002). Efeito dos níveis de cantaxantina na dieta sobre o desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras comerciais. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 4 (1), 1-7. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2002000100007 [consulta: 6 de setiembre 2019].
- [15] Guerin, M, Huntley, M.E, y Olaizola, M. (2003) Haematococcus astaxanthin: applications for human health and nutrition. *Trends in Biotechnology* [en línea], 21 (5) 210-216. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12727382> [consulta: 17 de setiembre 2019].
- [16] Guía de manejo Novogen (2015). Ponedoras Comerciales: Guía de manejo Novogen Brown. Disponible en <https://www.novogen-layer.com/es/documentacion/recherchedocumentheque.html> [consulta: 17 de setiembre 2019].
- [17] Higuera-Ciapara, I., Felix-Valenzuela, L, y Goycoolea, F.M. (2006) Astaxanthin: a review of its chemistry and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [en línea], 46 (2), 185-196. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16431409> [consulta: 14 de octubre 2019].
- [18] Johnson, E.A., Lewis, M.J. y Grau, C.R. (1980) Pigmentation of Egg Yolks with Astaxanthin from the Yeast *Phaffia rhodozyma*. *Poultry Science* [en línea], 59 (8), 1777-1782. Disponible en <https://academic.oup.com/ps/article-abstract/59/8/1777/1530992?redirectedFrom=fulltext> [consulta: 1 de noviembre 2019].
- [19] Kidd, P. (2011) Astaxanthin, cell membrane nutrient with diverse clinical benefits and anti-aging potential. *Alternative Medicine Review* [en línea], 16 (4), 355-364. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22214255> [consulta: 7 de setiembre 2019].
- [20] Kim, S. H., & Kim, H. (2018). Inhibitory Effect of Astaxanthin on Oxidative Stress-Induced Mitochondrial Dysfunction-A Mini-Review. *Nutrients*, 10(9), 1137. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6165470/> [consulta: 28 de enero 2020].
- [21] Latscha, T. (1990) Carotenoids: their nature and significance in animal feeds. En: *Animal Nutrition and Health*. F. Hoffmann-La Roche y Co. Ltd (comp.), Basle: F. Hoffmann-La Roche, 110.
- [22] Lee, J.H., Kim, Y.S., Choi, T., Lee, W.J. y Kim, Y.T. (2004) *Paracoccus haeundaensis* sp. nov., a Gram-negative, halophilic, astaxanthin-producing bacterium. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* [en línea], 54, 1699-1702. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15388731> [consulta: 7 de octubre 2019].
- [23] Lokaewmanee, K., Yamauchi, K., Komori, T. y Saito, K. (2011) Enhancement of egg yolk color by paprika combined with a probiotic. *Journal Applied of Poultry Research* [en línea], 20 (1), 90-94. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/270080682_Enhancement_of_egg_yolk_color_by_paprika_combined_with_a_probiotic [consulta: 14 de octubre 2019].

- [24] Lorenz, R.T y Cysewski, G.R. (2000) Commercial potential for Haematococcus microalgae as a natural source of astaxanthin. Trends in Biotechnology [en línea], 18 (4), 160-167. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167779900014335> [consulta: 2 de octubre 2019].
- [25] Magnuson, A.D, Sun, T, Yin, R, Liu, G, Tolba, S, Shinde, S, y Lei, X.G (2017), Dietary supplementation of microalgal astaxanthin produced dose-dependent enrichments of the phytochemical and elevations of radical absorbance capacity in tissues and eggs of layer hens, Journal of Animal Science Abstract - Nonruminant Nutrition [en línea], 95 (4), 188. Disponible en https://academic.oup.com/jas/article-abstract/95/suppl_4/188/4765317?redirectedFrom=fulltext [consulta: 5 de noviembre 2019].
- [26] McNulty, H.P., Byun, J., Lockwood, S.F., Jacob, R.F. y Preston Mason, R. (2007). Differential effects of carotenoids on lipid peroxidation due to membrane interactions: X-ray diffraction analysis. Biochimica et Biophysica Acta [en línea], 1768 (1), 167-174. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17070769> [consulta: 13 de setiembre 2019].
- [27] Orosa, M., Franqueira, D., Cid A. y Abalde J. (2005) Analysis and enhancement of astaxanthin accumulation in Haematococcus pluvialis. Bioresour Technology [en línea], 96 (1), 373–378. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15474940> [consulta: 12 de setiembre 2019].
- [28] Park, J.J. Chyun, J., Y. Kim, Y., L. L. Line, L.L., and B. P. Chew, B.P. (2010) Astaxanthin decreased oxidative stress and inflammation and enhanced immune response in humans. Nutrition & Metabolism, 7 (1), 1-10. Disponible en <https://nutritionandmetabolism.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1743-7075-7-18> [consulta: 30 de enero del 2020].
- [29] Rao, R.A., Harshvardhan R.A, y Aradhya, S.M. (2010) Antibacterial Properties of Spirulina platensis, Haematococcus pluvialis, Botryococcus braunii microalgal extracts, Current Trends in Biotechnology and Pharmacy [en línea], 4 (3), 809-819. Disponible en <https://academic.oup.com/japr/article/15/2/183/750778> [consulta: 2 de octubre 2019].
- [30] Rao, R., Sarada, A.R., Baskaran, C. y Ravishankar, G.A. (2009) Identification of carotenoids from green alga Haematococcus pluvialis by HPLC and LC-MS (APCI) and their antioxidant properties. Journal of Microbiology and Biotechnology [en línea], 19 (11), 1333-1341. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19996684> [consulta: 18 de setiembre 2019].
- [31] Rao, R.A., Siew M.P., Ravi, S. y Aswathanarayana, R.G. (2014) Astaxanthin: sources, extraction, stability, biological activities and Its comercial applications are view. Mar Drugs [en línea], 12 (1), 128-152. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/259630199_Astaxanthin_Sources_Extraction_Stability_Biological_Activities_and_Its_Commercial_Applications-A_Review [consulta: 16 de agosto 2019].
- [32] Roberts, J.R. y Ball, W. (2000) The use of the natural algal pigment astaxanthin as a yolk pigment for laying hens, Proceedings of Australian Poultry Science Symposium, Sidney, 12.
- [33] Roberts, J.R. (2004) Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. Journal of Poultry Science [en línea], 41 (3), 161-177. Disponible en https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpsa/41/3/41_3_161/_article [consulta: 10 de noviembre 2019].
- [34] Saha, S. K., Lee, S. B., Won, J., Choi, H. Y., Kim, K., Yang, G. M., Dayem, A.A., Cho, S. G. (2017). Correlation between Oxidative Stress, Nutrition, and Cancer Initiation. International

- journal of molecular sciences, 18(7), 1544. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5536032/> [Consulta: 30 enero 2020].
- [35] Sandeski, L.M., Ponsano, E.H.G. y Garcia Neto, M. (2014) Optimizing xanthophyll concentrations in diets to obtain well-pigmented yolks. *Journal of Applied Poultry Research* [en línea], 23 (3), 409-417. Disponible en < <https://academic.oup.com/japr/article/23/3/409/2843132>> [consulta: 1 de setiembre 2019].
- [36] Shahsavari, K. (2015) Influences of different sources of natural pigments on the color and quality of eggs from hens fed a wheat-based diet. *Iranian Journal of Applied Animal Science* [en línea], 5 (1), 167-172. Disponible en http://ijas.iaurasht.ac.ir/article_513458.html [consulta: 4 de setiembre 2019].
- [37] Sztretye, M., Dienes, B., Gönczi, M., Czirják, T., Csernoch, L., Dux, D., Szentesi, P., and Keller-Pintér, A. (2019) Astaxanthin: A Potential Mitochondrial-Targeted Antioxidant Treatment in Diseases and with Aging, *Hindawi*
- [38] *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* Volume 2019, Article ID 3849692, 14 pages <https://doi.org/10.1155/2019/3849692> [consulta: 30 de enero 2020].
- [39] Surai, P.F., Fisinin, V.I. y Karadasg, F. (2016) Antioxidant systems in chick embryo development. Part 1. Vitamin E, carotenoids and selenium. *Animal Nutrition* [en línea], 2(1): 1–11. Disponible en < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5941026/>> [consulta: 2 de octubre 2019].
- [40] Takahashi, K., Watanabe, M., Takimoto, T. y Akiba, Y. (2004) Uptake and distribution of astaxanthin in several tissues and plasma lipoproteins in male broiler chickens fed a yeast (*Phaffia rhodozyma*) with a high concentration of astaxanthin. *British Poultry Science*, 45 (1) 133-138. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15115211> [consulta: 20 de setiembre 2019].
- [41] Vuilleumier, J.P. (1969) The Roche Color Fan-An instrument for measuring yolk color. *Poultry Science* [en línea], 48 (3), 767-779. Disponible en <https://academic.oup.com/ps/article-abstract/48/3/767/1534031?redirectedFrom=fulltext> [consulta: 3 de junio 2019].
- [42] Waldenstedt, L., Inborr, J., Hansson, I. y Elwinger. K. (2003). Effects of astaxanthin-rich algal meal (*Haematococcus pluvialis*) on growth performance, caecal campylobacter and clostridial counts and tissue astaxanthin concentration of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 108 (1-4), 119-132. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840103001640> [consulta: 5 de setiembre 2019].
- [43] Walker, L.A., Wang, T., Xin, H. y Dolde, D. (2012) Supplementation of Laying-Hen Feed with Palm Tocots and Algae Astaxanthin for Egg Yolk Nutrient Enrichment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [en línea], 60 (8), 1989-1999. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22276647> [consulta: 5 de setiembre 2019].
- [44] Wayama, M., Ota, S., Matsuura, H., Nango, N., Hirata A. y Kawano S. (2013). Three-dimensional ultrastructural study of oil and astaxanthin accumulation during encystment in the green alga *Haematococcus pluvialis*. *PLoS One* [en línea], 8 (1), 1-9. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0053618&type=printable> [consulta: 14 de setiembre 2019].
- [45] Yang, Y, Kim, Y, Jin, Z, Lohakare, J, Kim, C, Ohh, S, Lee, S, Choi, J, y Chae, B (2006) Effects of Dietary Supplementation of Astaxanthin on Production Performance, Egg Quality in Layers and Meat Quality in Finishing Pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*

- [en línea], 19(7), 1019-1025. Disponible en <
<https://www.ajas.info/journal/view.php?doi=10.5713/ajas.2006.1019>> [consulta: 2 de octubre 2019].
- [46] Yasunori, N, Miharu, M, Jiro, T, Akitoshi, K, Yoshiharu, H, Yuri, S, y Hiroki, T (2005) The Effect of Astaxanthin on Retinal Capillary Blood Flow in Normal Volunteers. *Journal of Clinical Therapeutics y Medicines* [en línea], 21(5), 537-542. Disponible en https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=200902244786365234&rel=0 [consulta: 7 de octubre 2019].