

Evaluación del desempeño de un método comercial objetivo para la determinación del color de la yema en huevos de codornices (*Coturnix coturnix japonica*) recibiendo diferentes pigmentos en la dieta^{1,2}

Héctor L. Sánchez-Rodríguez³ y Gladycia C. Muñiz-Colón⁴

J. Agric. Univ. P.R. 107(1):11-24 (2023)

RESUMEN

Debido a que el uso del abanico de colores Roche (ACR; el estándar para determinación del color de la yema en huevos) puede ser subjetivo, se han desarrollado métodos alternativos capaces de tomar estas medidas en forma objetiva, incluyendo un analizador comercial de calidad del huevo (ACH; ORKA). Sin embargo, el ACH fue desarrollado para huevos de gallina, dejando indefinida su posible capacidad para analizar huevos de menor tamaño como los de codornices japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). La presente investigación comparó ambos instrumentos en huevos de codorniz con diferentes tonalidades producidas mediante las siguientes dietas experimentales: dieta comercial (CONTROL; n=279), dieta comercial + pigmento amarillo (OroGlo; AMARILLO; n=133) o dieta comercial + pigmento rojo (Cantaxantina; ROJO; n=266). Ambos instrumentos tienen una escala del 1 al 15 (1=pálido y 15=intenso). Los datos se analizaron mediante los procedimientos GLIMMIX y CORR de SAS. El ACR detectó diferencias en color entre dietas con ROJO > CONTROL > AMARILLO (9.55 ± 0.34 , 6.80 ± 0.09 y 5.88 ± 0.12 , respectivamente; $P < 0.0001$). Un comportamiento similar se observó con el ACH con 7.43 ± 0.23 , 6.00 ± 0.10 y 4.92 ± 0.12 para ROJO, CONTROL y AMARILLO, respectivamente ($P < 0.0001$). Los valores del ACR fueron 2.12 (ROJO), 0.80 (CONTROL) y 0.96 (AMARILLO) unidades mayores que los del ACH ($P < 0.0001$). Se observaron coeficientes de correlación de 0.24 ($P = 0.0013$), 0.48 ($P < 0.0001$) y 0.74 ($P < 0.0001$) entre ACH y ACR para CONTROL, AMARILLO y ROJO, respectivamente. La confiabilidad del ACH en huevos de codorniz, aunque moderada en huevos con altos valores de color, fue considerablemente baja en huevos con yemas pálidas.

¹Manuscrito sometido a la Junta Editorial el 8 de noviembre de 2022.

²Los autores desean agradecer a los estudiantes que colaboraron en la recolección de datos, Paul Brayan, René Delgado, Alexandra Taboada, Adriana Alonso, Gretchen Colón, Claudia Acevedo, Viviana Colón, Samuel Prieto y Alejandra Torres, y a las personas que se encargaron del cuidado y manejo de las codornices, Eva Rodríguez y Gilberto Sánchez. También, los autores aprecian la generosa ayuda del Dr. José Latorre, quien proveyó los pigmentos utilizados.

³Catedrático Asociado, Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Mayagüez.

⁴Exestudiante graduada, Departamento de Horticultura, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Mayagüez.

Palabras clave: *Coturnix coturnix japonica*, color de la yema del huevo, abanico de colores de Roche, analizador de calidad del huevo

ABSTRACT

Evaluation of a commercial objective method for yolk color determination in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs receiving different pigments in their diets

Because the Roche color fan (RCF, the standard for yolk color determination) may be subjective, alternative methods of taking these measurements have been developed, including an egg analyzer (EAN; ORKA). However, the EAN was developed for chicken eggs, leaving its capability uncertain on the smaller eggs of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). Therefore, we compared both instruments using quail eggs with different yolk pigment colors produced by the following diets: commercial (CONTROL; n=279), commercial + yellow pigment (OroGlo; YELLOW; n=133) or commercial + red pigment (Carophyll Red; RED; n=266). Both instruments have a 1 to 15 scale (1=pale and 15=intense). Data were analyzed using the SAS GLIMMIX and CORR procedures. The RCF detected color differences between diets with RED > CONTROL > YELLOW (9.55±0.34, 6.80±0.09, and 5.88±0.12, respectively; $P<0.0001$). A similar trend was observed for EAN with 7.43±0.23, 6.00±0.10, and 4.92±0.12 for RED, CONTROL, and YELLOW, respectively ($P<0.0001$). The RCF values were 2.12 (RED), 0.80 (CONTROL), and 0.96 (YELLOW) units greater than those of EAN ($P<0.0001$). Correlation coefficients of 0.24 ($P=0.0013$), 0.48 ($P<0.0001$), and 0.74 ($P<0.0001$) were observed between instruments for CONTROL, YELLOW, and RED, respectively. The reliability of EAN on quail eggs, although moderate in eggs with high color values, was considerably low in eggs with pale yolks.

Keywords: *Coturnix coturnix japonica*, egg yolk color, Roche color fan, egg quality analyzer

INTRODUCCIÓN

La apariencia visual de los alimentos tiene un impacto altamente significativo en la percepción del consumidor (Hasin et al., 2006), por ejemplo, el color de la yema de huevos para consumo humano (Karadas et al., 2006; Skrivan et al., 2015). De hecho, existen diferencias culturales / geográficas en cuanto a la preferencia del consumidor hacia cierta tonalidad en el color de la yema de los huevos de mesa, favoreciendo en general las tonalidades intensas (Beardsworth y Hernández, 2004). Adicionalmente, la ingesta de los pigmentos responsables de la coloración de la yema de huevo ha sido asociada en humanos con una menor incidencia de diversas condiciones de salud, incluyendo cáncer del seno y de los pulmones, enfermedades cardíacas, cataratas y degeneración macular (Ribaya-Mercado y Blumberg, 2004). Por esta razón, diversos sectores del público consumidor pueden preferir una coloración intensa o marcada a la hora de comprar y consumir este producto.

Sin embargo, el ave no puede sintetizar estos pigmentos, por lo que es necesario incluirlos en su dieta para alcanzar el color deseado en la yema (Skrivan et al., 2015). La luteína y zeaxantina son carotenoides amarillos, mientras que la cantaxantina es un carotenoide de color rojo (Kaya y Yildirim, 2011), los cuales se pueden utilizar de forma natural o sintética para controlar la intensidad del color de la yema (Skrivan et al., 2015).

Debido al impacto que el color de la yema ejerce sobre las preferencias del consumidor, durante años se ha evaluado la pigmentación de esta en huevos de diversas especies utilizando el Abanico de Color Roche (ACR; Vuilleumier, 1969; Karunajeewa et al., 1984; Baiao et al., 1999; Carranco et al., 2003; Figura 1 A), el estándar para estos propósitos (Stewart, 2007). Con este instrumento se compara visualmente la yema en estudio con 15 diferentes tonalidades de color que aparecen en el abanico (desde amarillo pálido hasta anaranjado intenso; Muñoz y Vellojín, 2002; Cai et al., 2013). Sin embargo, debido a que este análisis se realiza de forma visual, los resultados obtenidos pueden ser considerados como de naturaleza subjetiva (Roberson et al., 2005), dependiendo directamente del individuo y de las condiciones de iluminación existentes durante la evaluación.

Debido a los posibles errores asociados con esta subjetividad, se han desarrollado métodos alternos de naturaleza objetiva para llevar

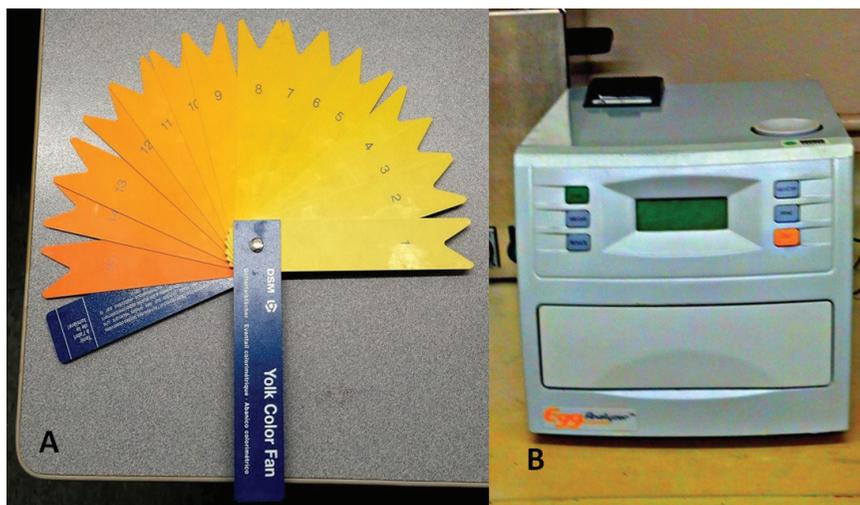


FIGURA 1. Abanico de colores de Roche (A; DSM Nutritional Products, Basel, Switzerland) y analizador comercial de la calidad del huevo (B; Egg Analyzer; ORKA Food Technology Ltd., Ramat Hasharon, Israel) utilizados en el estudio.

a cabo este tipo de análisis. Uno de estos métodos objetivos comercialmente disponibles para este propósito lo es el analizador de calidad del huevo (ACH; Egg Analyzer; ORKA Food Technology Ltd., Ramat Hasharon, Israel⁵; Figura 1 B), el cual ha sido ampliamente validado en la determinación de la pigmentación de la yema en huevos de gallina (Gurbuz et al., 2012; Cai et al., 2013; Aygun, 2014). Sin embargo, la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*), la cual es una excelente productora de huevos para consumo humano (Ernst, 1978; Narinc et al., 2010), produce huevos con un tamaño equivalente a solo entre una quinta a una séptima parte del tamaño del huevo de gallina (Bragagnolo y Rodríguez-Amaya, 2003). Según nuestro conocimiento, a pesar de la importancia económica que esta especie representa a nivel mundial (Narinc et al., 2010), actualmente no existen datos que validen el uso del ACH en huevos de codorniz. Por estas razones, se diseñó este estudio para: (i) evaluar la capacidad de diversos pigmentos disponibles comercialmente para aumentar la intensidad del color de la yema de los huevos de codorniz, y (ii) utilizar estos huevos para evaluar la validez del ACH al determinar el color de la yema en esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El color de la yema se evaluó en 678 huevos de codorniz japonesa. Con la idea de producir diferentes tonalidades en el color de las yemas (Figura 2), los huevos se obtuvieron de codornices bajo una de tres dietas experimentales ofrecidas *ad libitum*. Las dietas incluían (1) dieta comercial (CONTROL; n=279 huevos), (2) dieta comercial + pigmento amarillo [AMARILLO; OroGlo; carotenoides amarillos (luteína y zeaxantina) principalmente de la flor de caléndula; 2 g de pigmento /45.45 kg de alimento; n=133 huevos; Kemin AgriFoods North America, Inc., Des Moines, Iowa, EE.UU.] y (3) dieta comercial + pigmento rojo (ROJO; cantaxantina; carotenoide sintético rojo; 2 g de pigmento/45.45 kg de alimento; n=266 huevos; Carophyll Red, Lisboa, Portugal). Para cada tratamiento se usaron tres jaulas y en cada jaula se colocaron tres codornices hembra en edad reproductiva. Basándonos en múltiples estudios previos, los cuales han determinado en diversos pigmentos un periodo de tratamiento de siete a 12 días previo a alcanzar el máximo efecto en la coloración de la yema de huevos de codorniz y de gallina (Mackay et al., 1963; Anderson et al., 1991; Delgado-Vargas et al., 1998; Karadas et al., 2006), en la presente investigación la recolección

⁵Los nombres de compañías y de marcas registradas solo se utilizan para proveer información específica y su uso no constituye garantía por parte de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, ni endoso sobre otros productos o equipo que no se mencionan y puedan estar disponibles.

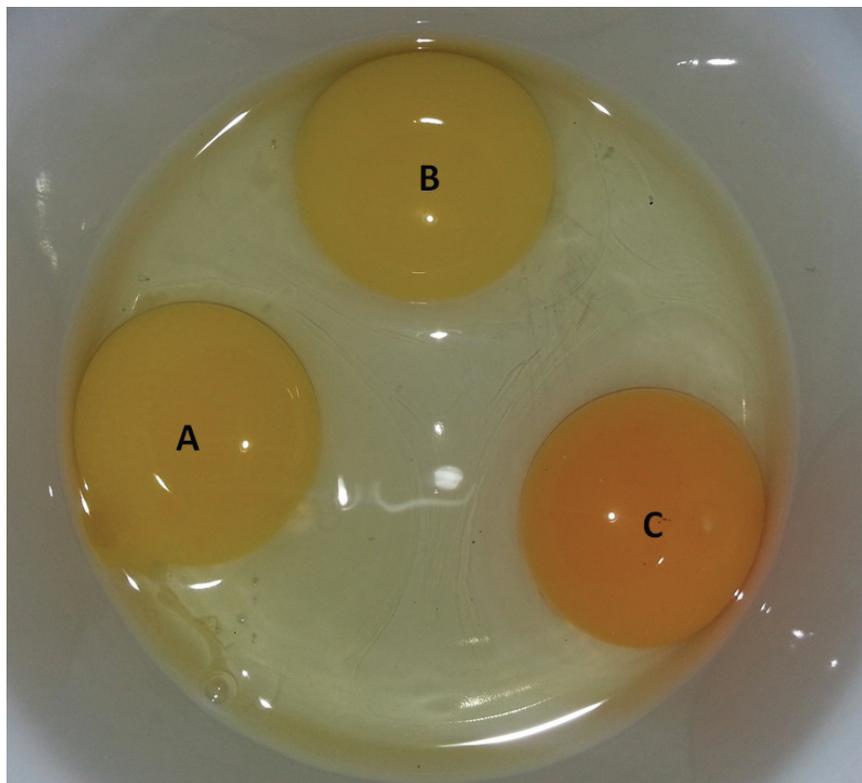


FIGURA 2. Ejemplos de yemas de huevos de codorniz japonesa producidas bajo las dietas CONTROL (A), AMARILLO (B) y ROJO (C). El grupo CONTROL recibió una dieta comercial; el grupo AMARILLO recibió la misma dieta comercial con el pigmento amarillo OroGlo (2 g de pigmento /45.45 kg de alimento) y el grupo ROJO recibió la misma dieta comercial con el pigmento rojo Carophyll Red (2 g de pigmento/45.45 kg de alimento). Las dietas experimentales fueron ofrecidas *ad libitum*.

de datos se inició 14 días después de comenzar a administrar las dietas experimentales. Las codornices continuaron recibiendo su dieta experimental hasta el final del estudio.

Antes de romper cada huevo para la determinación del color de su yema, su peso individual se determinó usando una balanza comercial (Denver Instrument Company; Denver, CO, EE.UU.). Las yemas de cada huevo se clasificaron en una escala del 1 al 15 (1 = amarillo pálido; 15 = anaranjado intenso) por un mismo evaluador mediante el uso del abanico de colores de Roche (DSM Nutritional Products, Basel, Switzerland), el estándar para estos propósitos (Stewart, 2007). Todas las evaluaciones se llevaron a cabo en el mismo laboratorio bajo la misma iluminación. Inmediatamente después, el color de la yema de cada hue-

vo se evaluó, también individualmente, mediante un ACH comercial (Egg Analyzer; ORKA Food Technology Ltd., Ramat Hasharon, Israel) utilizando la misma escala. Debido a que este instrumento está calibrado para evaluar huevos de gallina (los cuales son de mayor tamaño y altura), los huevos de codorniz se colocaron sobre un plato secundario de aproximadamente 1 cm de alto creado en nuestro laboratorio (Figura 3), el cual aumentó la altura de los huevos permitiendo obtener medidas con este instrumento.

Los datos obtenidos se analizaron mediante los procedimientos GLIMMIX y CORR en SAS. El valor obtenido para color de la yema (tanto en el ACR como en el ACH) fue incluido como variable dependiente del modelo. La dieta experimental (CONTROL, AMARILLO o ROJO) y el instrumento utilizado (ACR o ACH) se incluyeron como efectos fijos, mientras que el peso de cada huevo se utilizó como efecto aleatorio. Además, las dietas experimentales se compararon en cuanto al peso promedio de los huevos mediante un procedimiento GLIMMIX, también en SAS. Las medidas obtenidas bajo cada instrumento se correlacionaron entre sí para cada dieta. Se consideró como significativo un Valor- $P \leq 0.05$.

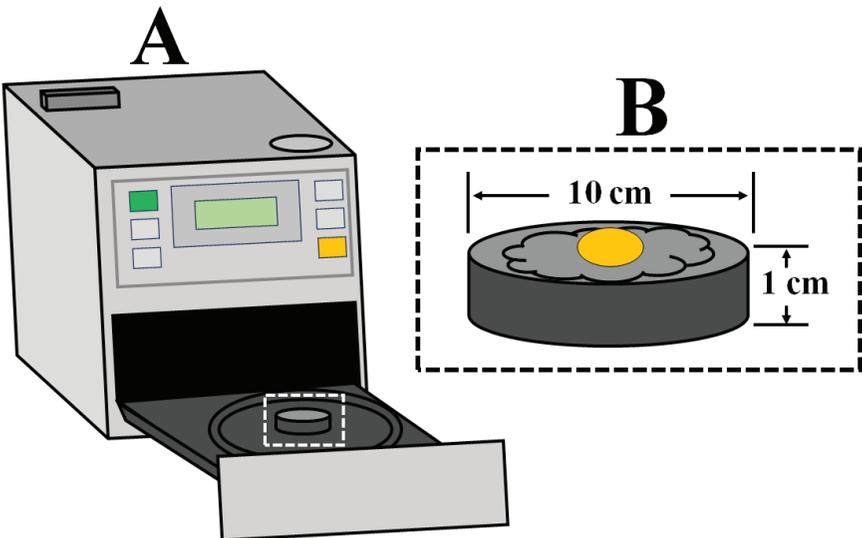


FIGURA 3. Diagrama ilustrando el analizador comercial de calidad del huevo (A). Egg Analyzer; ORKA Food Technology Ltd., Ramat Hasharon, Israel), junto a un acercamiento del plato secundario utilizado para aumentar la altura de la yema de los huevos de codorniz y poder obtener valores de color con este instrumento (B). El plato secundario fue creado en nuestro laboratorio y pintado de color negro, el mismo color del plato original del analizador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó una interacción entre la dieta experimental y el instrumento utilizado para evaluar el color de la yema ($P=0.0004$; Figura 4). El ACR detectó diferencias en el color de las yemas asociadas a la dieta con ROJO > CONTROL > AMARILLO (9.55 ± 0.34 , 6.80 ± 0.09 y 5.88 ± 0.12 , respectivamente; $P<0.0001$). El mismo comportamiento (pero con valores promedio menores) se observó para el ACH con las dietas ROJO, CONTROL y AMARILLO mostrando valores de 7.43 ± 0.23 , 6.00 ± 0.10 y 4.92 ± 0.12 , respectivamente ($P<0.0001$).

Nuestros resultados coinciden con los reportados por otros autores (Pérez y Hernández, 2006; Philipps et al., 2007; Anderson et al., 2008; Cho et al., 2013), quienes observaron un incremento significativo en la tonalidad del color de la yema en huevos de gallinas ponedoras al suplementar la dieta con cantaxantina, el pigmento de nuestro tratamiento ROJO. De hecho, se ha reportado que para alcanzar colores de

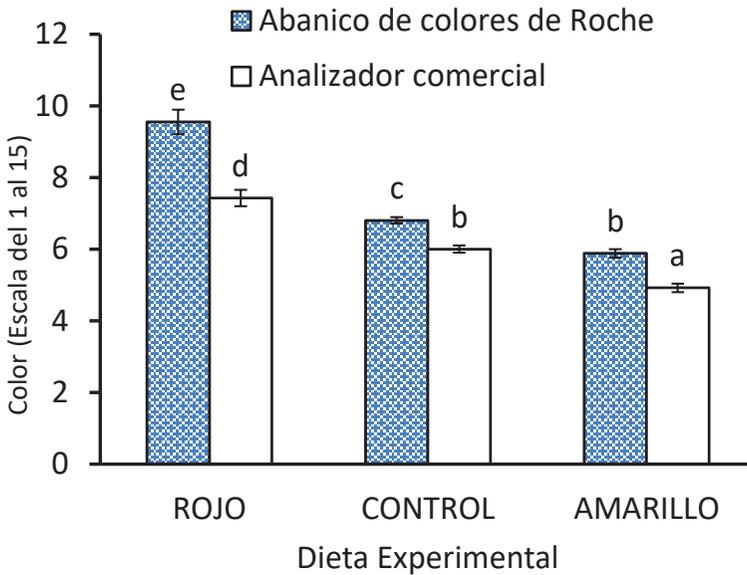


FIGURA 4. Colores de yemas provenientes de huevos de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) determinados por el abanico de colores de Roche (DSM Nutritional Products, Basel, Switzerland) y por un analizador comercial de calidad de huevo (Egg Analyzer; ORKA Food Technology Ltd., Ramat Hasharon, Israel) para las diferentes dietas experimentales evaluadas. El grupo CONTROL recibió una dieta comercial; el grupo AMARILLO recibió la misma dieta comercial con el pigmento amarillo OroGlo (2 g de pigmento /45.45 kg de alimento) y el grupo ROJO recibió la misma dieta comercial con el pigmento rojo Carophyll Red (2 g de pigmento/45.45 kg de alimento). Dieta experimental ($P<0.0001$); Instrumento ($P<0.0001$); Dieta experimental x Instrumento ($P=0.0004$).

yema cercanos al anaranjado es necesario añadir pigmentos rojos en la dieta, tales como la cantaxantina (Hamilton, 1992, según citado por Stewart, 2007), el cual es rápidamente absorbido cuando se administra oralmente en gallinas ponedoras (Yang et al., 2012). Por lo tanto, la adición de este pigmento en la dieta de las codornices permitió producir yemas de colores intensos, las cuales, a su vez, ayudaron en la evaluación de la validez de las medidas tomadas por el ACH.

Por otro lado, y contrario a nuestros resultados, donde la dieta CONTROL presentó mayor intensidad de color que el tratamiento AMARILLO (Figura 4), múltiples investigaciones han reportado, tanto en gallinas (Fletcher y Halloran, 1981; Hasin et al., 2006; Lokaewmanee et al., 2011) como en codornices (Karadas et al., 2006; Antoniol de Moura et al., 2011), una significativamente mayor tonalidad de la yema al añadir flor de caléndula en la dieta, uno de los ingredientes principales de nuestro pigmento AMARILLO. En la literatura se han reportado resultados que podrían ayudar a esclarecer, al menos parcialmente, este comportamiento inesperado en nuestros resultados. Stewart (2007) reportó que cuando la dieta basal de gallinas ponedoras ya provee considerable pigmentación a la yema, el efecto del pigmento amarillo es sumamente limitado hasta alcanzar un “plateau”, a partir del cual una suplementación adicional no resulta en un cambio significativo en color. Nuestra dieta basal fue una comercial por lo que, aunque no conocemos su concentración y perfil original de pigmentos, debido a que está principalmente compuesta de ingredientes vegetales comunes como el maíz, podemos asumir una concentración considerable de estos carotenoides. De hecho, Balnave y Bird (1996) indicaron que la coloración comercial de la yema en huevos para consumo humano requiere dos fases: primero la acumulación de pigmentos amarillos hasta alcanzar la saturación visual y segundo, la adición de pigmentos rojos para intensificar la tonalidad. Ellos concluyeron que dietas comerciales basadas en maíz (similares a la nuestra) no requieren la suplementación con carotenoides amarillos para satisfacer la primera fase de saturación debido a que la dieta provee los mismos. Ellos también concluyeron que la eficiencia de deposición en la yema de los pigmentos amarillos provenientes de la flor de caléndula es limitada en comparación con otros carotenoides amarillos de otras fuentes. De hecho, los valores de color obtenidos por el ACR en el grupo AMARILLO no fueron diferentes de aquellos obtenidos por el ACH en la dieta CONTROL (Figura 4). Sin embargo, aunque esto ayudaría a explicar la razón por la cual los colores observados en el grupo AMARILLO fueron tan bajos, esta teoría no explica el hecho

de que para cada instrumento la dieta CONTROL presentara mayores valores que el grupo AMARILLO (Figura 4).

Por otra parte, existe la posibilidad de que los niveles basales de color de las yemas antes de comenzar los tratamientos fueran considerablemente menores en el grupo AMARILLO en comparación con los demás tratamientos, resultando en menores valores pos-tratamiento. Sin embargo, todas las codornices utilizadas en esta investigación recibieron exactamente las mismas condiciones (incluyendo su dieta) desde su incubación hasta el comienzo de la investigación, lo cual limita grandemente esta posibilidad. Aún más, debido a que en la presente investigación no se tomaron datos pre-tratamiento no nos es posible evaluar esta opción.

También, basado en el artículo de Van den Berg (1997), en su revisión sobre aves, Surai et al. (2001) reportaron que luteína, uno de los principales carotenoides en nuestro tratamiento AMARILLO, es capaz de inhibir la absorción de β -caroteno. De acuerdo a ese hallazgo, la presencia de este carotenoide en nuestro tratamiento pudo haber limitado la absorción de los pigmentos originalmente presentes en la dieta basal, limitando así el impacto de este tratamiento.

Además, diferentes investigaciones han reportado una relación negativa entre el tamaño del huevo y la concentración de carotenoides en la yema de este en múltiples especies, incluyendo gallinas (Dvorak et al., 2009), patos Mallard (Butler y McGraw et al., 2013), codornices japonesas (McGraw, 2006) y aves silvestres [*Larus fuscus* (Blount et al., 2002) e *Hirundo rustica erythrogaster* (Safran et al., 2008)]. En nuestro estudio, el tratamiento CONTROL presentó huevos con menores pesos que el AMARILLO y el ROJO, los cuales no difirieron entre sí (11.19 ± 0.04 , 11.53 ± 0.06 y 11.56 ± 0.08 g, respectivamente; $P < 0.0001$). Por lo tanto, a pesar de que el peso del huevo fue utilizado como efecto aleatorio en nuestro análisis estadístico, estas diferencias en peso podrían haber resultado en una menor acumulación de pigmentos y, por ende, un menor valor de color en el grupo AMARILLO que en el CONTROL. Sin embargo, es importante mencionar que en nuestros datos no existe un patrón claro al correlacionar el peso del huevo con el valor de color presentado por su yema (Tabla 1) que nos ayude a apoyar esta discusión, por lo que estudios futuros deben ir dirigidos a esclarecer este comportamiento.

Aunque, debido a la posible subjetividad en las medidas tomadas por el ACR, diversas investigaciones han acompañado el uso de este instrumento con otros métodos alternativos al evaluar huevos de gallina (Delgado-Vargas et al., 1998; Roberson et al., 2005; Dvorak et al., 2009), este ha sido altamente validado (Stewart, 2007) y utilizado para corroborar los resultados obtenidos por otros métodos alterna-

CUADRO 1.—*Coefficientes de correlación observados entre el peso del huevo y el valor numérico de color en yemas de huevos de codornices japonesas (Coturnix coturnix japonica) bajo dietas experimentales con diferentes pigmentos.*¹

	Peso del Huevo		
	CONTROL ²	AMARILLO ³	ROJO ⁴
Color mediante el ACR ⁵	0.31 0.0004	0.47 <0.0001	-0.26 0.0116
Color mediante el ACH ⁶	-0.31 0.0022	0.28 0.0101	0.01 0.8976

¹Los valores presentados son coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia (Valores-*P*).

²CONTROL = dieta comercial.

³AMARILLO = dieta comercial + OroGlo (2 g /45.45 kg de alimento).

⁴ROJO = dieta comercial + Cantaxantina (2 g /45.45 kg de alimento).

⁵ACR = abanico de colores de Roche (DSM Nutritional Products, Basel, Switzerland).

⁶ACH = analizador comercial de la calidad del huevo (Egg Analyzer; ORKA Food Technology Ltd., Ramat Hasharon, Israel).

Muñiz y Sánchez; Tabla 1

tivos en yemas de huevos de esta especie (Dvorak et al., 2005). Aún más, el ACR ha sido también utilizado como principal o único método para la determinación de color en múltiples estudios de otras ramas de la industria avícola, incluyendo aquellos relacionados con la pigmentación de la piel (Blagburn et al., 1987; Torres y Torres, 1999; Emadi y Kermanshahi, 2006) y de las patas (Miles et al., 1984; Fletcher et al., 1986; Pérez et al., 2001; Zhu et al., 2009) en pollos parrilleros. El ACR, por tanto, representa el mejor punto de comparación en la validación de cualquier otro método alternativo. Para propósitos de la presente investigación, un buen instrumento alternativo para determinar objetivamente las medidas de color de la yema sería aquel que brinde resultados altamente asociados a los obtenidos mediante el ACR, pero sin depender directamente del evaluador o de las condiciones de iluminación existentes. Weber et al. (2009) describieron como asociaciones moderadas, buenas, muy buenas y excelentes aquellas con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.50 a 0.59, 0.60 a 0.79, 0.80 a 0.89 y 0.90 a 1.00, respectivamente. Aún más, Udovicic et al. (2007) describieron coeficientes de correlación de Pearson entre 0 y 0.25, 0.25 y 0.50, 0.50 y 0.75, y 0.75 y 1.00 como ausencia de asociación, asociación pobre, asociación moderada y muy buena o excelente asociación, respectivamente. En nuestro estudio se obtuvieron correlaciones de 0.28 ($P=0.0013$), 0.48 ($P<0.0001$) y 0.74 ($P<0.0001$) entre los valores de color medidos por el ACR y los obtenidos por el ACH en las dietas experimentales CONTROL, AMARILLO y ROJO, respectivamente. Por lo tanto, nuestros resultados indican

una relación de moderada a buena entre los valores medidos por ambos instrumentos al evaluar huevos con yemas de colores intensos. Sin embargo, al evaluar huevos con los colores de yema comunes para codornices consumiendo dietas comerciales (como en la dieta CONTROL) se observó una pobre asociación entre ambos instrumentos. Además, aunque ambos instrumentos fueron capaces de diferenciar entre tratamientos de forma similar (Figura 4), los valores obtenidos mediante el ACR fueron 2.12, 0.80 y 0.96 unidades de color mayores que aquellos presentados por el ACH ($P < 0.0001$; Figura 4) en las dietas ROJO, CONTROL y AMARILLO, respectivamente. Basado en esta comparación, el ACH subestimó los valores de color de las yemas evaluadas. Es importante recordar que este ACH fue desarrollado para la evaluación de huevos de gallina (con una altura de la yema específica y mayor a la del huevo de codorniz). Como se mencionó anteriormente, para poder obtener valores con este instrumento en huevos de codorniz fue necesario aumentar la altura de la yema mediante la adición de un plato secundario creado en nuestro laboratorio, lo cual podría haber influenciado los valores obtenidos. De hecho, en su estudio Bondoc et al. (2020) fueron capaces de utilizar exitosamente el ACH evaluado en la presente investigación, en huevos de gallina y de otras especies con tamaño de huevo similar como patos, guineas y pavos, pero no en huevos más pequeños (de codorniz) o más grandes (de avestruz).

CONCLUSIÓN

El pigmento ROJO resultó en los mayores valores de color observados en la yema en huevos de codorniz. Estos resultados corroboran la posibilidad de ajustar el color de la yema en esta especie de acuerdo con el gusto del consumidor hasta alcanzar tonalidades intensas, lo cual podría tener un impacto considerable en diferentes nichos del mercado. Aún más, probablemente la adición de este pigmento en la dieta en diferentes dosis permitiría producir una amplia gama de tonalidades de color en las yemas, las cuales pueden ser utilizadas para evaluar el desempeño de diversos instrumentos alternativos para estos propósitos. Sin embargo, el pigmento del grupo AMARILLO mostró colores inferiores a los observados en los demás grupos experimentales, incluyendo el grupo CONTROL. Aunque la pigmentación original en la dieta basal, la posible competencia en absorción entre diferentes pigmentos y las diferencias en el tamaño de los huevos observadas entre tratamientos podrían ayudar a explicar este patrón, aún hacen falta investigaciones futuras para alcanzar un mejor entendimiento sobre el mismo. A pesar de que en huevos de gallina el ACH representa una al-

ternativa objetiva ampliamente aceptada para el estudio del color de la yema, en huevos de menor tamaño como en el caso de la codorniz (sobre todo aquellos con yemas de colores pálidos), este instrumento podría requerir modificaciones (e.g., aumento en la altura del plato donde se coloca el huevo) y la subsecuente validación.

LITERATURA CITADA

- Anderson, D. W., C. S. Tang y E. Ross, 1991. The xanthophylls of Spirulina and their effect on egg yolk pigmentation. *Poult. Sci.* 70(1): 115-119.
- Anderson, D. M., J. L. MacIssac, M. A. Daniel, T. L. MacKinnon y K. L. Budgell, 2008. Evaluating the effects of crab meal, Carophyll Red, and Carophyll Yellow in laying hen diets on egg yolk pigmentation and production performance. *Can. J. Anim. Sci.* 88(4): 637-640.
- Antoniol de Moura, A. M., F. Naomi Takata, G. Rodrigues do Nascimento, A. Ferreira da Silva, T. Vasconcelos Melo y P. Roberto Cecon, 2011. Pigmentantes naturais em rações à base de sorgo para codornas japonesas em postura. *R. Bras. Zootec.* 40(11): 2443-2449.
- Aygun, A., 2014. The relationship between eggshell colour and egg quality traits in table eggs. *Indian J. Anim. Res.* 48(3): 290-294.
- Baiao, N. C., J. Méndez, J. Mateos, M. García y G. G. Mateos, 1999. Pigmenting efficacy of several oxycarotenoids on egg yolk. *J. Appl. Poult. Res.* 8(4): 472-479.
- Balnavé, D. y J. N. Bird, 1996. Relative efficiencies of yellow carotenoids for egg yolk pigmentation. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 9: 515-518.
- Beardsworth, P. M. y J. M. Hernández, 2004. Yolk colour—an important egg quality attribute. *Intern. Poultry Prod.* 12(5): 17-18.
- Blagburn, B. L., D. S. Lindsay, J. J. Giambrone, C. A. Sundermann y F. J. Hoerr, 1987. Experimental cryptosporidiosis in broiler chickens. *Poult. Sci.* 66(3): 442-449.
- Blount, J. D., P. F. Surai, R. G. Nager, D. C. Houston, A. P. Moller, M. L. Trewby y M. W. Kennedy, 2002. Carotenoids and egg quality in the lesser black-backed gull *Larus fuscus*: a supplemental feeding study of maternal effects. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 269(1486): 9-36.
- Bondoc, O. L., A. O. Ebron, A. R. Ramos y R. C. Santiago, 2020. Comparison of egg quality traits in different poultry species and breeds. *Philippine J. Vet. Med.* 57(2): 220-235.
- Bragagnolo, N. y D. B. Rodríguez-Amaya, 2003. Comparison of the cholesterol content of Brazilian chicken and quail eggs. *J. Food Comp. Anal.* 16(2): 147-153.
- Butler, M. W. y K. J. McGraw, 2013. Eggshell coloration reflects both yolk characteristics and dietary carotenoid history of female mallards. *Funct. Ecol.* 27(5): 1176-1185.
- Cai, J., H. Gu, S. Shi y H. Tong, 2013. Effects of high-dose daidzein on laying performance, egg quality and antioxidation in laying hens. *J. Poult. Sci.* 50(3): 237-241.
- Carranco, M. E., C. Calvo, L. Arellano, F. Pérez-Gil, E. Ávila y B. Fuente, 2003. Inclusión de harina de cabezas de camarón (*Panaeus* sp.) en raciones para gallinas ponedoras. Efecto sobre la concentración de pigmento rojo de yema y calidad de huevo. *Inter-ciencia* 28(6): 328-333.
- Cho, J. H., Z. F. Zhang y I. H. Kim, 2013. Effects of canthaxanthin on egg production, egg quality, and egg yolk color in laying hens. *J. Agr. Sci.* 5(1): 269-274.
- Delgado-Vargas, F., O. Paredes-López y E. Ávila-González, 1998. Effects of sunlight illumination of marigold flower meals on egg yolk pigmentation. *J. Agric. Food Chem.* 46(2): 698-706.
- Dvorak, P., J. Dolezalova y P. Suchy, 2009. Photocolorimetric determination of yolk colour in relation to selected quality parameters of eggs. *J. Sci. Food Agr.* 89(11): 1886-1889.

- Dvorak, P., J. Kunova, E. Strakova, P. Suchy y V. Kunova, 2005. Changes in the colour and the acidity number of egg yolk upon irradiation. *Eur. Food Res. Technol.* 221(3-4): 348-350.
- Emadi, M. y H. Kermanshahi, 2006. Effect of turmeric rhizome powder on performance and carcass characteristics of broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.* 5(11): 1069-1072.
- Ernst, R. A., 1978. Raising and propagating Japanese quail. Division of Agricultural Sciences. University of California. Leaflet 2738.
- Fletcher, D. L., C. M. Papa y F. X. Tirado, 1986. The effect of saponification on the broiler coloring capability of marigold extracts. *Poult. Sci.* 65(9): 1708-1714.
- Fletcher, D. L. y H. R. Halloran, 1981. An evaluation of a commercially available marigold concentrate and paprika oleoresin on egg yolk pigmentation. *Poult. Sci.* 60(8): 1846-1853.
- Gurbuz, O., Y. Sahan, G. Goncagul y A. Kara, 2012. Polyethylene glycol lactid coating on fresh egg. United States: Patent Application Publication.
- Hasin, B. M., A. J. M. Ferdaus, M. A. Islam, M. J. Uddin y M. S. Islam, 2006. Marigold and orange skin as egg yolk color promoting agents. *Int. J. Poult. Sci.* 5(10): 979-987.
- Karadas, F., E. Grammenidis, P. F. Surai, T. Acamovic y N. H. C. Sparks, 2006. Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *Br. Poult. Sci.* 47(5): 561-566.
- Karunajeewa, H., R. J. Hughes, M. W. McDonald y F. S. Shenstone, 1984. A review of factors influencing pigmentation of egg yolks. *World Poultry Sci. J.* 40(1): 52-65.
- Kaya, S. y H. Yildirim, 2011. The effect of dried sweet potato (*Ipomoea batatas*) vines on egg yolk color and some egg yield parameters. *Int. J. Agric. Biol.* 15: 766-770.
- Lokaewmanee, K., K. E. Yamauchi, T. Komori y K. Saito, 2011. Enhancement of yolk color in raw and boiled egg yolk with lutein from marigold flower meal and marigold flower extract. *J. Poult. Sci.* 48(1): 25-32.
- Mackay, E., G. J. Mountney y E. C. Naber, 1963. Yolk color resulting from different levels of paprika extract in the ration. *Poult. Sci.* 42(1): 32-37.
- McGraw, K. J., 2006. Dietary carotenoids mediate a trade-off between egg quantity and quality in Japanese quail. *Ethol. Ecol. Evol.* 18(3): 247-256.
- Miles, R. D., D. M. Janky y R. H. Harms, 1984. Virginiamycin and broiler performance. *Poult. Sci.* 63(6): 1218-1221.
- Muñoz-Ossa, J. C. y J. D. Vellojin-Payares, 2002. Diseño y evaluación de un sistema de producción de huevos con gallinas bajo pastoreo. Guácimo, Costa Rica: Universidad EARTH. 1-5.
- Narinc, D., T. Aksoy y E. Karaman, 2010. Genetic parameters of growth curve parameters and weekly body weights in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *J. Anim. Vet. Adv.* 9(3): 501-507.
- Pérez-Vendrell, A. M. y J. M. Hernández, 2006. Comparative effects of pigment inclusion in feed or drinking water on hen performance and egg yolk colour. In the 12th European Poultry Conference, Verona, Italy, 10-14 September. World's Poultry Science Association.
- Pérez-Vendrell, A. M., J. M. Hernández, L. Llaurado, J. Schierle y J. Brufau, 2001. Influence of source and ratio of xanthophyll pigments on broiler chicken pigmentation and performance. *Poult. Sci.* 80(3): 320-326.
- Philipps, P., R. Aureli, J. Schierle, E. Funda y M. Gadiant, 2007. Comparison of a gelatin-free formulation of canthaxanthin and Carophyll red pigmentation in egg yolk. Actes des 7èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, France, 28 et 29 mars, 268-272.
- Ribaya-Mercado, J. D. y J. B. Blumberg, 2004. Lutein and zeaxanthin and their potential roles in disease prevention. *J. Am. Coll. Nutr.* 23(sup6): 567S-587S.
- Roberson, K. D., J. L. Kalbfleisch, W. Pan y R. A. Charbeneau, 2005. Effect of corn distiller's dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. *Int. J. Poult. Sci.* 4(2): 44-51.
- Safran, R. J., K. M. Pilz, K. J. McGraw, S. M. Correa y H. Schwabl, 2008. Are yolk androgens and carotenoids in barn swallow eggs related to parental quality? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 62(3): 427-438.

- Skrivan, M., M. Englmaierová, E. Skrivanová e I. Bubancová, 2015. Increase in lutein and zeaxanthin content in the eggs of hens fed marigold flower extract. *Czech. J. Anim. Sci.* 60(3): 89-96.
- Stewart, G., 2007. Investigating the effect of diet on nutrient concentration in eggs: How your breakfast might be healthier than you think. *Inquiry Journal*. Paper 15.
- Surai, P. F., B. K. Speake y N. H. C. Sparks, 2001. Carotenoids in avian nutrition and embryonic development. 1. Absorption, availability and levels in plasma and egg yolk. *J. Poult. Sci.* 38(1): 1-27.
- Torres-Cardona, M. D. y J. O. Torres-Quiroga, 1999. Broiler skin and egg yolk pigmentation by using saponified marigold extracts with a high content of zeaxanthin. U.S. Patent No. 5,997,922.
- Udovicic, M., K. Bazdaric, L. Bilic-Zulle y M. Petrovecki, 2007. What we need to know when calculating the coefficient of correlation? *Biochem. Med.* 17(1): 10-15.
- Weber, U., W. P. Maksymowych, A. G. Jurik, C. W. A. Pfirrmann, K. Ruffbach, R. O. Kissling, M. A. Khan, R. G. W. Lambert y J. Hodler, 2009. Validation of whole-body against conventional magnetic resonance imaging for scoring acute inflammatory lesions in the sacroiliac joints of patients with spondylarthritis. *Arthrit. Care Res.* 61: 893-899.
- Vuilleumier, J. P., 1969. The 'Roche yolk colour fan'—an instrument for measuring yolk colour. *Poult. Sci.* 48(3): 767-779.
- Yang, T., L. Yang, X. Kunlong, X. Rong, L. Dong, H. Mengheng, y S. Chongying, 2012. Pharmacokinetics of canthaxanthin in carophyll red in chickens. *Chinese J. Anim. Nutr.* 6.
- Zhu, N. H., R. J. Zhang, H. Wu y B. Zhang, 2009. Effects of *Lactobacillus* cultures on growth performance, xanthophyll deposition, and color of the meat and skin of broilers. *J. Appl. Poultry Res.* 18(3): 570-578.