



ARTÍCULO ORIGINAL

Variaciones sexuales y etarias de la coloración del plumaje de *Erythrura gouldiae* (Passeriformes: Estrildidae) en cautiverio

Variations in plumage coloration of Erythrura gouldiae (Passeriformes: Estrildidae) in captivity

Evelyn Marichal Arbona^{1*}, Dennis Denis Ávila²

¹ Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros

² Facultad de Biología
Universidad de La Habana

* Autor para correspondencia:
ema@ciec.fica.inf.cu

RESUMEN

En las aves, los patrones de coloración son el resultado de un complejo proceso evolutivo y tienen diversas funciones adaptativas. En este estudio se evaluaron las variaciones sexuales y etarias en la coloración del plumaje de variedades cautivas de *Erythrura gouldiae*, especie policromática, endémica de Australia y en peligro de extinción. Se tomaron fotografías del pecho, vientre, vista superior de un ala extendida, y lateral de la cabeza de 135 individuos de 39 variedades de la especie en cautiverio. Las fotos se tomaron sobre un fondo blanco, con un patrón estándar de colores básicos (Rojo, Verde y Azul), que permitió eliminar el efecto de las diferencias de iluminación. Las fotografías se procesaron en el programa *Adobe Photoshop CS3*, y se midieron los valores digitales de la intensidad de los canales Rojo, Verde y Azul. Se obtuvo que las áreas más variables fueron la máscara y las alas, y en éstas el color rojo presentó las mayores diferencias. Entre las variedades, las provenientes del rostro ancestral negro presentaron mayor variabilidad. Las diferencias sexuales detectadas no siguen el mismo modelo en todas las variedades ni en todas las áreas del cuerpo analizadas. En la máscara, las hembras de algunas variedades resultaron más coloridas que los machos y en las áreas del pecho, ala y vientre el valor de intensidad de la banda azul resultó mayor en las hembras. En general, las intensidades de la coloración del pecho, el vientre y el ala aumentaron con la edad, mientras que en la máscara disminuyó.

Palabras clave: Coloración de plumaje, Diamante de Gould, fotografía digital

ABSTRACT

Avian color patterns are the outcome of a complex evolutionary process and have different resulting adaptive functions. In this study, we assessed the sexual and age variations in plumage coloration of captive varieties of *Erythrura gouldiae*; a polychromatic and endangered species of

Recibido: 2013-10-22

Aceptado: 2014-01-15

Australia. The chest, belly, extended wing (upper-view) and head (side-view) of 135 individuals of 39 varieties of the species were photographed. Photos were taken on a white background with a strip containing the standard pattern of the basic colors, Red – Green- Blue, to eliminate the effects of varying lighting conditions. Photographs were processed using Adobe Photoshop CS3, and digital values of the intensity of the Red, Green and Blue channel were measured. The mask and wings showed the highest variability, and in these areas, red color was the most variable. Individuals from those varieties derived from ancestral black mask morph, exhibited more variability. Sexual difference patterns were not equal between varieties nor body areas here in sampled. The mask in females of certain varieties was more colorful than in males, and the blue channel intensity on the chest, belly and wing reached higher values in females. In general, colors intensity of the chest, belly and wing increase with the age, unlike the mask which faded away.

Keywords: Plumage coloration, Gouldian Finch, digital photography

INTRODUCCIÓN

En las aves, los patrones de coloración son el resultado de un complejo proceso que incluye varios componentes como las características de la piel y el plumaje, el sistema sensorial del observador potencial y las condiciones ambientales (Endler 1990). Las características del color y sus funciones adaptativas son aplicadas en ecología para la determinación de dimorfismos sexuales (Bryant y Hayes 2009) y diferencias geográficas entre poblaciones (Schmits-Ornes 2006). También, sus usos se han extendido a los estudios de biología evolutiva (Stevens et al. 2007), selección sexual (Anderson 1994), procesos de especiación (Coyne y Orr 2004) y filogenia entre las especies (Reignier 2008). Además, constituye una variable importante en investigaciones taxonómicas (e. g. Graves 1997).

Para evaluar la coloración del plumaje en aves se ha aplicado la comparación con categorías estándares preestablecidas, pero esto tiene como inconveniente el carácter subjetivo de la apreciación del color por los humanos, la poca repetitividad y la diferente sensibilidad de la visión a determinadas longitudes de ondas entre los humanos y las aves (Schmits-Ornes 2006). Un método más exacto, pero muy costoso, es el empleo de radioespectrómetros y espectrofotómetros de reflectancia que detectan un espectro más amplio de longitudes de ondas pero que no miden la coloración de los animales de manera holística, lo cual es importante para interacciones entre aspectos de la señal visual (Endler y Mielke 2005). Un método que en la actualidad se ha desarrollado, mucho menos

costoso que el anterior, es a través de fotografías digitales y programas de análisis de imágenes (Stevens et al. 2007). La fotografía digital ha puesto al alcance de todos los investigadores la posibilidad de hacer evaluaciones cuantitativas de los patrones de coloración sin los sesgos asociados a la percepción humana.

Erythrura gouldiae (Passeriformes: Estrildidae) es una especie muy utilizada como ave ornamental, con alto valor ornitófilo por sus atractivos colores (Fig. 1). Es endémica de Australia y presenta un polícromatismo dado por tres tipos básicos de coloración de la cabeza: negra, la más común en vida libre ($\approx 70\%$), roja ($\approx 30\%$) (Pryke et al. 2007) y amarilla o naranja, que es la más rara ($<0,1\%$) (Gilby et al. 2009). Alrededor de la máscara



Fig. 1: *Erythrura gouldiae*, de nombre común Lady Gould (Gouldian Finch) (Passeriformes: Estrildidae) es un buen modelo animal para el estudio de la variabilidad en patrones de coloración del plumaje.

Fig. 1: *Erythrura gouldiae*, common spanish name Lady Gould (Gouldian Finch) (Passeriformes: Estrildidae) is a good animal model species to study plumage color variability.

presenta un collar azul, el pecho es púrpura, el vientre amarillo y el dorso y las alas verdes. Existen además otras coloraciones obtenidas en cautiverio a partir de cruzamientos específicos realizados para fijar determinadas características de la pigmentación y estructura de las plumas para constituir nuevas variedades. En los últimos 100 años, esta especie ha sufrido una disminución significativa en sus poblaciones naturales por su explotación con fines comerciales como mascotas (O' Malley 2005). Actualmente se encuentra en peligro, según la UICN, al estar afectada también por los fuegos no controlados que afectan sus sitios de anidación y por la presencia, en las poblaciones naturales, de un parásito que ataca sus sacos aéreos (Tidemann 1996). Por sus características, la especie puede ser considerada un buen modelo biológico para el estudio de las variaciones de la coloración del plumaje y esta información pueden ser empleada para el desarrollo de variedades en cautiverio lo cual puede disminuir la presión sobre las poblaciones remanentes. Además, profundizar en el estudio de diferentes aspectos de su biología proveerá el conocimiento necesario para su protección en vida libre.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar las variaciones de la coloración del plumaje por regiones del cuerpo, sexo, raza y edad de *Erythura gouldiae* desarrolladas en cautiverio, mediante el procesamiento digital de imágenes. Esta investigación, además de constituir un modelo para el estudio de los patrones de coloración del plumaje en aves, puede tener una aplicación concreta y efectiva en los concursos ornitófilos al servir de apoyo a la decisión de los jueces en la selección de los mejores ejemplares.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo entre febrero y abril de 2011, durante los cuales se seleccionaron entre 4 y 14 individuos de 14 variedades de *Erythura gouldiae*, pertenecientes a miembros de la Sociedad de Ornitología de Cuba de La Habana, Ciego de Ávila y Sancti Spiritus para un total de 96 aves. Con fines comparativos, se incluyeron otras 25 variedades, de las cuales se tomaron únicamente, entre uno y tres individuos, que totalizaron una muestra de 135 individuos y 39 variedades (Anexo 1).

Para la evaluación digital de la intensidad de la coloración se utilizó una cámara digital Olympus SP-310 de 7.1 megapíxeles, sensor CCD, con todas las funcio-

nes automáticas deshabilitadas. Previo a su uso, se evaluó la linealidad de su respuesta espectral a partir de fotografías tomadas al mismo estándar, bajo 12 intensidades conocidas de luz, medidas con un luxómetro marca Testo 540. Se tomaron fotografías en formato TIFF del pecho, vientre, área superior de un ala extendida y lateral de la cabeza; todas sobre una base blanca con un patrón estándar de colores básicos (rojo, verde y azul), que fue utilizado posteriormente para eliminar el efecto de las diferencias de iluminación. De cada individuo se tomó, además, la variedad, el sexo y la edad.

Las fotografías se procesaron en el programa Adobe Photoshop CS3 y se estandarizaron a partir de una misma imagen de referencia, empleando la opción de pareo de histogramas de los colores, para eliminar las diferencias en iluminación ambiental en el momento de la toma de la fotografía.

Sobre cada imagen se colocó una máscara que mostraba la ubicación de 24 áreas a muestrear por individuo (6 en la máscara, 10 en el pecho y vientre y 8 en las alas), con tamaños entre 316 y 5773 píxeles. En cada una se registraron los valores de intensidad media para cada canal de color (Rojo, Verde y Azul). Esta intensidad fue expresada en niveles digitales, entre 0 y 255, correspondiente a una imagen de 8 bits de resolución espectral.

Los datos fueron filtrados por medio de la eliminación del 5 % de los datos extremos, para evitar el efecto de posibles valores no representativos (outliers) y se obtuvieron los estimadores más robustos. Se comprobó la normalidad y la homogeneidad de varianza con las pruebas de Kolmogorov – Smirnov y Levene, respectivamente. Para evaluar la linealidad de la respuesta de la cámara se realizó una correlación de Spearman.

Ante la ausencia de normalidad se efectuaron pruebas de Kruskal – Wallis para analizar las comparaciones múltiples, así como pruebas U de Mann – Whitney, para las comparaciones pareadas. Se analizaron las fuentes de variaciones asociadas a la intensidad de la coloración por medio del cálculo de los coeficientes de variación medio a nivel de muestras intra-individuales, de promedios de individuos dentro de cada variedad (variabilidad intra-varietal) y de promedios entre variedades de las mismas coloraciones ancestrales del rostro (nivel inter-varietal). Se realizó un escalado multidimensional no métrico con los valores

de intensidad de los colores en todas las zonas del cuerpo estudiadas, para ordenar las variedades en función de su grupo de origen.

Para evaluar las diferencias sexuales se compararon los individuos machos y hembras adultos, tanto con plumaje ancestral como sus variantes. La variabilidad asociada a las diferencias etarias se evaluó mediante la relación de la edad en años de cada ejemplar con los valores de intensidad digital.

La concordancia entre los puntajes de los jueces y los puntajes digitales se evaluó por medio de una matriz de confusión, y empleando el índice de concordancia Kappa de Cohen, estimando el valor de p por medio de estimados de Montecarlo.

Todo el análisis estadístico se realizó en los programas Statistica versión 8.0 y StatXact 4.0; y en las pruebas de hipótesis se consideró un nivel de significación de 0,05.

RESULTADOS

Linealidad de la respuesta de la cámara

Las correlaciones de la intensidad de la luz ambiental con los niveles de luminosidad detectados digitalmente y la intensidad en cada banda de color fueron directas y muy significativas (Fig. 2). Este resultado muestra que las fotografías tomadas en intensidades muy diferentes de iluminación ambiental pueden

mostrar falsas diferencias, de hasta un máximo de 20 unidades de niveles digitales (que representan cerca de un 11 % de diferencia con el valor real), subestimándose la intensidad verdadera a mayores intensidades por el efecto de saturación de los receptores de la cámara. Por esta razón, las fotografías de las aves se realizaron siempre en condiciones intermedias de iluminación (entre 300 y 500 lux).

Variación de la coloración del plumaje de *E. gouldiae* por área del cuerpo y variedad

Los colores azul y rojo tuvieron la mayor y menor variabilidad respectivamente. Los coeficientes de variación de los canales RGB intra-individuos fueron, en general, menores en valores absolutos que los intra-varietales. Las alas y la máscara fueron las zonas más variables en un mismo individuo para los tres colores (Tabla 1).

Al comparar las zonas del cuerpo, se observó variabilidad tanto entre zonas como entre los colores de rostro ancestrales de los cuales provienen las variedades actuales muestreadas. La máscara presentó mayores valores de variación (coeficiente de variación promedio de 89,1 %), seguida de las alas (58,8 %) y el pecho (46,9 %). Los valores de variación superiores al 100 %, correspondieron a la máscara en todas las líneas de colores ancestrales, siendo el mayor valor de

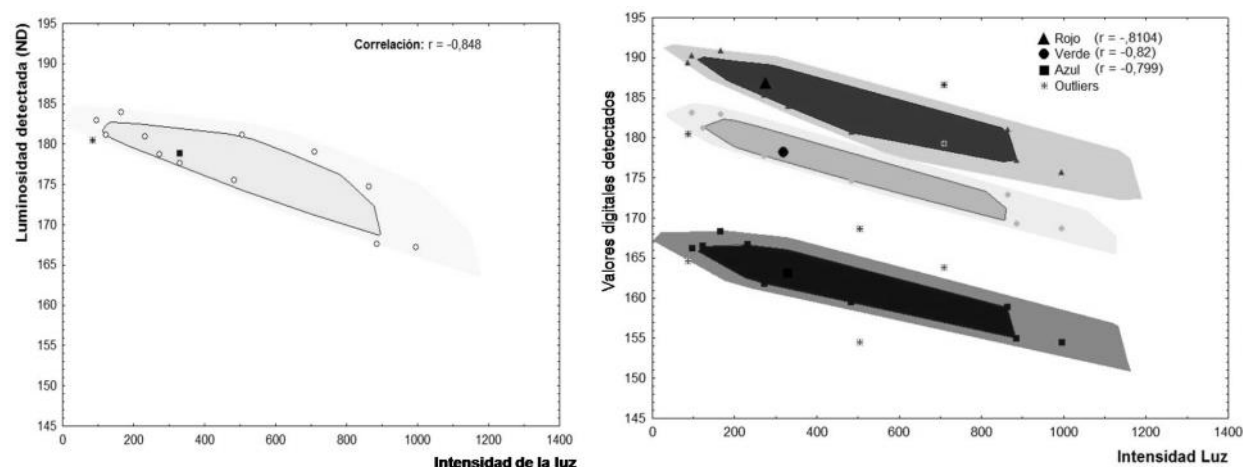


Figura 2: Representación de la luminosidad y las intensidades de rojo, verde y azul detectadas a partir de las imágenes de un patrón estándar de colores básicos (rojo, verde y azul) tomadas con la cámara digital empleada en el estudio en relación a la intensidad de luz ambiental (expresadas en Lux).

Figure 2: Luminosity and intensities of red, Green and blue detected using images taken on a standard color pattern (RGB) with the digital camera used in the study to relate camera values with light intensity (in Lux).

Tabla 1: Variabilidades relativas (CV) en los valores digitales de la intensidad de los colores (Rojo, Verde y Azul) del plumaje de *Erythura gouldiae* en cuatro áreas del cuerpo a nivel intra-individual e intra-varietal.

Table 3: Relative variabilities (CV) in digital values of color intensities (Red, Green and Blue) of the plumage of *Erythura gouldiae* in four areas of the body at intra-individual and intra-variety level.

Área del cuerpo	Nivel de variación	Color	CV medio	Límites de confianza del CV (95 %)
Máscara	Intra-individuo	Rojo	20,1	(17,3 - 22,9)
		Verde	35,0	(30,8 - 39,2)
		Azul	59,9	(52,1 - 67,6)
	Intra-varietal	Rojo	40,1	(29,6 - 50,6)
		Verde	52,0	(38,1 - 65,9)
		Azul	82,2	(64,9 - 99,5)
Alas	Intra-individuo	Rojo	22,4	(20,3 - 24,6)
		Verde	27,2	(24,4 - 30,0)
		Azul	43,1	(38,6 - 47,5)
	Intra-varietal	Rojo	21,7	(15,9 - 27,5)
		Verde	28,2	(20,9 - 35,6)
		Azul	39,2	(29,9 - 48,4)
Pecho	Intra-individuo	Rojo	14,2	(12,3 - 16,1)
		Verde	16,7	(14,3 - 19,1)
		Azul	16,6	(14,3 - 18,9)
	Intra-varietal	Rojo	28,7	(21,4 - 36,0)
		Verde	42,2	(32,1 - 52,3)
		Azul	33,0	(26,0 - 40,1)
Ventre	Intra-individuo	Rojo	12,6	(11,2 - 13,9)
		Verde	12,6	(11,2 - 13,9)
		Azul	50,1	(42,5 - 57,7)
	Intra-varietal	Rojo	11,7	(9,5 - 13,8)
		Verde	19,7	(15,9 - 23,5)
		Azul	53,1	(35,2 - 70,9)

139,7 % en las variedades que provienen del color anaranjado del rostro. Las variedades provenientes del color de rostro ancestral negro fueron las más variables (Tabla 2).

En la representación simultánea de los valores digitales de los colores rojo, verde y azul de las variedades analizadas se observó que las variedades Amarillos pastel cabeza naranja (ACC36), Silvestres cabeza naranja (ACC03), Verdes pecho blanco cabeza roja (ACC 04) y Marfil pecho rosa cabeza roja (ACC49) poseen las coloraciones más intensas, seguidos de los Plata cabeza negra (ACC53) y Verdes pecho blanco cabeza negra (ACC05). El Azul pecho blanco cabeza naranja (ACC18), Amarillo pastel pecho rosa cabeza negra (ACC42), Silvestre cabeza negra (ACC02), Plata pecho blanco cabeza naranja (ACC57) y Marfil cabeza roja (ACC43) fueron los que presentaron de forma

general mayores valores de rojo, pero menos de verde y azul. Los individuos que presentaron los colores de menor intensidad fueron los Amarillos cabeza negra (ACC29), Verde pastel cabeza negra (ACC11), Azul cabeza negra (ACC14), Amarillo pastel cabeza negra (ACC35) y Azul pastel cabeza negra (ACC23) (Fig. 3).

Variación sexual y etaria del color del plumaje

Los colores mostraron diferencias específicas entre los sexos de cada variedad. Para el color de la máscara se tuvo que, en las variedades azules ACC14, ACC15 y ACC16, el macho tuvo mayores valores para los tres colores que la hembra, mientras que en los Amarillo pastel cabeza negra (ACC35) y Silvestre cabeza negra (ACC02) las hembras tuvieron mayores valores que los machos. En el resto de las variedades, las hembras

Tabla 2: Variabilidades relativas (CV, %) en los valores digitales de la intensidad de los colores (Rojo, Verde y Azul) del plumaje de *Erythrura gouldiae* en cuatro áreas del cuerpo de las variedades agrupadas según los colores de los linajes ancestrales del rostro.

Table 2: Variabilidades relativas (CV, %) en los valores digitales de la intensidad de los colores (Rojo, Verde y Azul) del plumaje de *Erythrura gouldiae* en cuatro áreas del cuerpo de las variedades agrupadas según los colores de los linajes ancestrales del rostro.

Área del cuerpo	Canal de Color	Color ancestral del rostro		
		Rojo*	Negro**	Anaranjado***
Máscara	Rojo	41,4	85,3	37,3
	Verde	80,9	119,5	65,5
	Azul	120,8	111,1	139,7
Pecho	Rojo	44,02	40,12	41,41
	Verde	56,70	49,13	56,89
	Azul	44,03	44,12	45,74
Ala	Rojo	45,9	55,1	45,8
	Verde	51,0	66,8	53,2
	Azul	67,0	78,5	65,7
Ventre	Rojo	12,8	14,8	12,3
	Verde	20,0	17,9	16,3
	Azul	71,7	76,2	75,2

* Incluye 15 variedades ** Incluye 13 variedades *** Incluye 11 variedades

tienen mayores valores de rojo excepto en la Silvestre cabeza naranja (ACC03) y Verde pecho blanco cabeza roja (ACC04). En los machos Verde pastel cabeza roja ACC10 en amarillos ACC28, ACC31 y ACC34 el color azul de la máscara fue el único color más intenso que en las hembras (Fig. 4). Al comparar las alas, el pecho y el vientre entre los sexos de las distintas variedades se observó que el valor del azul fue mayor en las hembras que los machos. En el caso del pecho la coloración de las hembras fue más intensa que la de los machos (Fig. 4).

Al comparar los individuos de las edades comprendidas entre 5 meses y 4 años no se detectaron diferencias significativas en los valores de rojo, verde y azul. Se observó, sin embargo, una tendencia no significativa desde el punto de vista estadístico pero con sentido biológico, a que la intensidad de los colores se incrementara con la edad para las alas, pecho y vientre. Este no fue el caso de la máscara donde la intensidad de los colores básicos tendió a disminuir (Fig. 5).

Las evaluaciones realizadas por los jueces rindieron valores fundamentalmente diferentes de los otorgados por la clasificación digital (prueba de permutaciones, $p = 0,0013$). El porcentaje de coincidencias entre

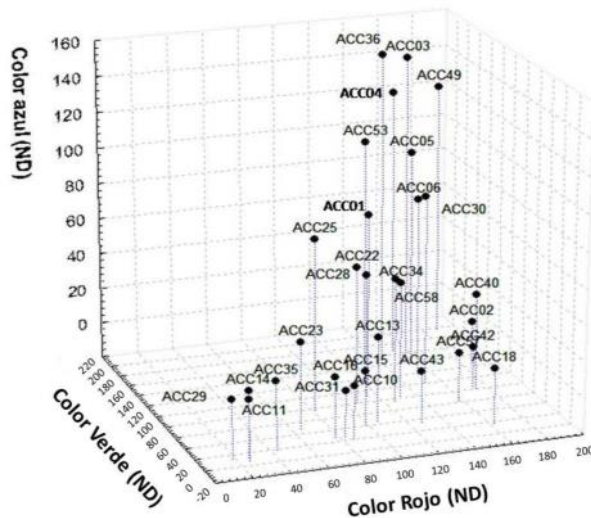


Figura 3: Representación de las intensidades (en niveles digitales –ND) de Rojo, Verde y Azul, en el plumaje de la máscara, pecho, vientre y alas en 39 variedades de *Erythrura gouldiae* (Passeriformes: Estrildidae) en cautiverio.

Figure 3: Representation of intensities (in digital levels –ND) of Red, Green and Blue, in the mask plumage, chest, belly and wings in 39 varieties of *Erythrura gouldiae* (Passeriformes: Estrildidae) in captivity.

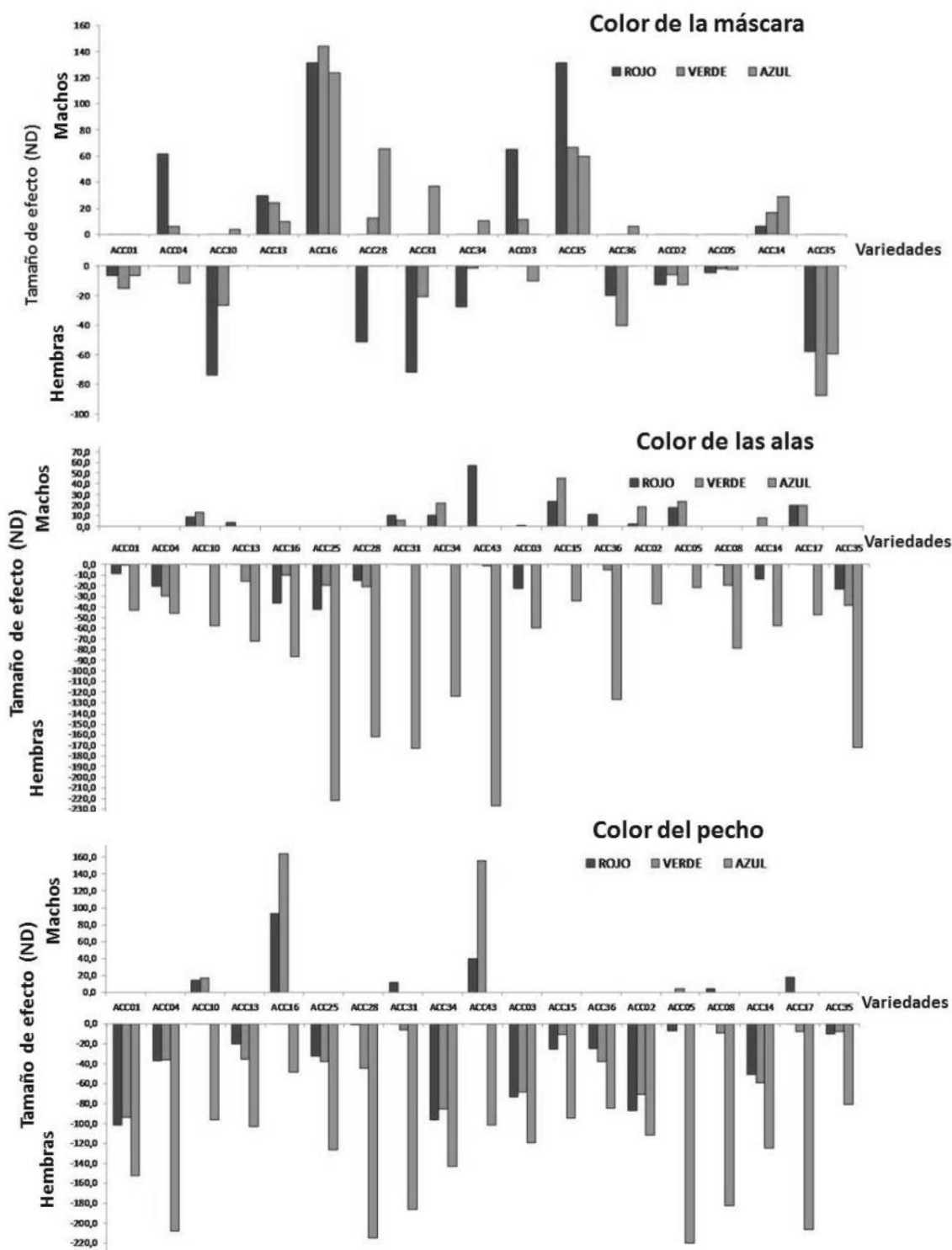


Figura 4: Diferencias entre las intensidades de los colores de la máscara (A), alas (B), pecho (C) y vientre (D) entre sexos de *E. gouldiae* de 18 variedades. Los valores positivos corresponden a mayor intensidad en los machos y los negativos en las hembras.

Figure 4: Differences between intensities of colours in the mask (A), wings (B), chest (C) and belly (D) between sexes in *E. gouldiae* of 18 varieties. Positive values correspond to higher intensity in males and negatives in females.

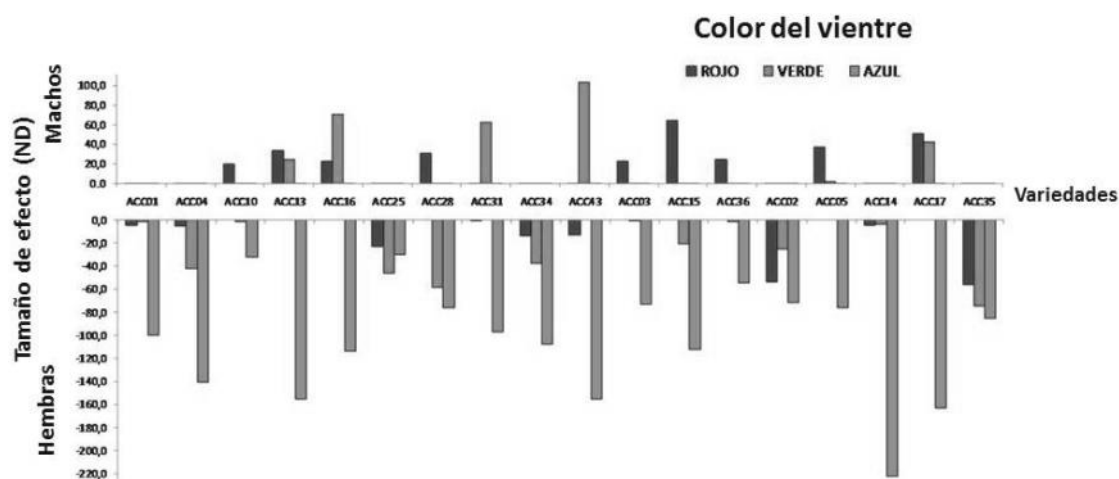


Figura 4: Diferencias entre las intensidades de los colores de la máscara (A), alas (B), pecho (C) y vientre (D) entre sexos de *Erythrura gouldiae* de 18 variedades. Los valores positivos corresponden a mayor intensidad en los machos y los negativos en las hembras.

Figure 4: Diferencias entre las intensidades de los colores de la máscara (A), alas (B), pecho (C) y vientre (D) entre sexos de *Erythrura gouldiae* de 18 variedades. Los valores positivos corresponden a mayor intensidad en los machos y los negativos en las hembras.

las clasificaciones u ordenamientos de los ejemplares según la calidad del color fue muy bajo, con valores entre 11 y 36 % según la calificación dada (coincidencia general de 25 %) (Tabla 3).

La concordancia entre ambos ordenamientos, considerando las 115 evaluaciones –todas las regiones del cuerpo de forma independiente- evaluada con una prueba de concordancia (kappa de Cohen) dio un valor de este índice de -0,0023. La estimación de la p de este índice por MonteCarlo rindió una probabilidad de 0,54 para pruebas de dos colas (intervalo de confianza

al 99 % de 0,53 – 0,55). Al graficar la distribución de frecuencias en las diferencias entre los puntajes dados a los mismos ejemplares por ambas vías analizadas se observa una ligera asimetría hacia los valores negativos (Fig. 6).

DISCUSIÓN

Las técnicas de procesamiento de imágenes digitales brindan una aparente flexibilidad y precisión para cuantificar las propiedades cromáticas de las señales visuales de manera independiente de la percepción humana. Permiten utilizar poderosos y complejos al-

Tabla 3: Porcentajes de concordancia entre los ordenamientos de ejemplares de *E. gouldiae* efectuados por los jueces y los obtenidos por la evaluación digital de las fotos.

Table 3: Porcentajes de concordancia entre los ordenamientos de ejemplares de *E. gouldiae* efectuados por los jueces y los obtenidos por la evaluación digital de las fotos.

	Fotos Jueces	Puntajes digitales				Suma	% de coincidencia
		1	2	3	4		
Puntajes visuales	1	3	4	6	15	28	11
	2	1	6	10	10	27	22
	3	2	7	10	9	28	36
	4	4	4	12	9	29	31
Suma		10	21	38	43	112	25

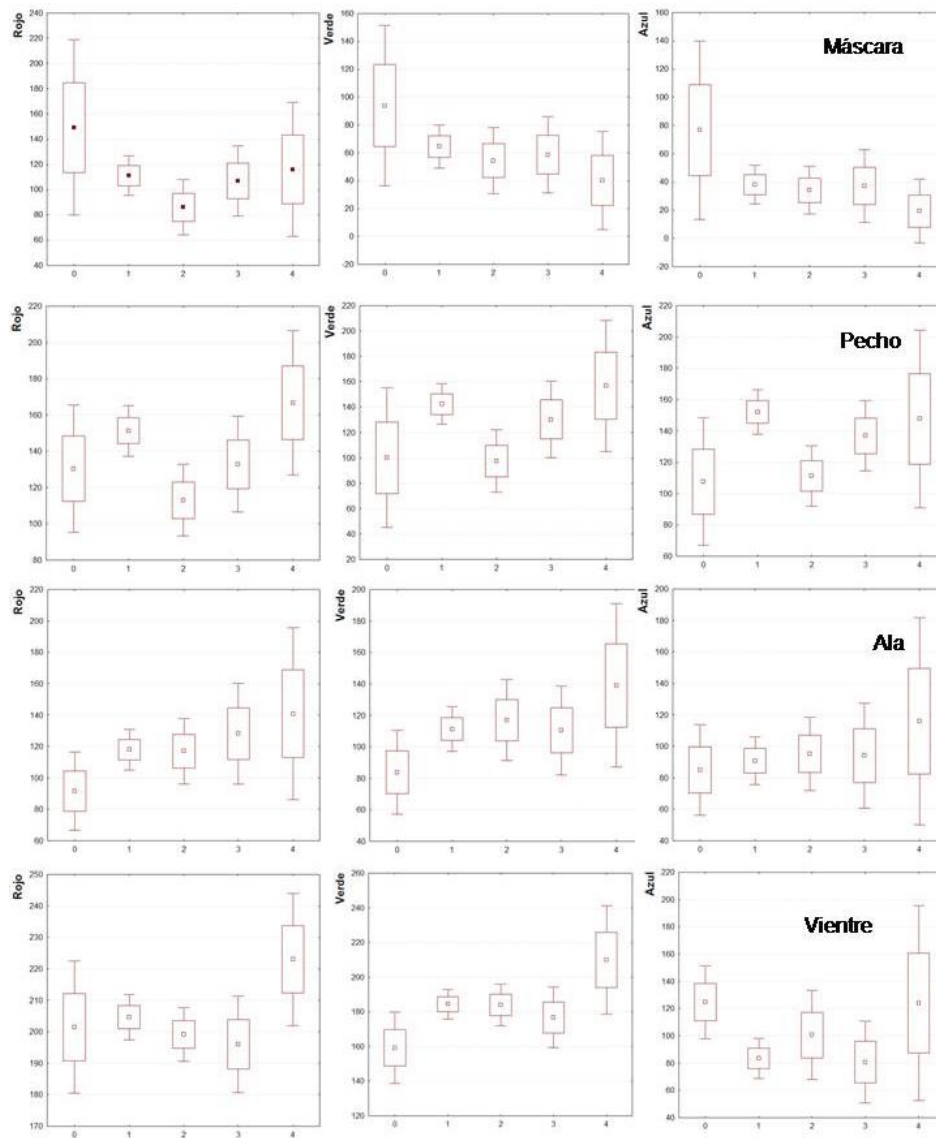


Figura 4: Diferencias entre las intensidades de los colores rojo, verde y azul en individuos de diferentes edades (en años) de *Erythura gouldiae* (Passeriformes: Estrildidae) en la máscara, pecho, ala y vientre (colores expresados en niveles digitales).

Figure 4: Diferencias entre las intensidades de los colores rojo, verde y azul en individuos de diferentes edades (en años) de *Erythura gouldiae* (Passeriformes: Estrildidae) en la máscara, pecho, ala y vientre (colores expresados en niveles digitales).

goritmos de procesamiento de imágenes para el análisis de patrones espaciales, sin tener que reconstruir la topografía de puntos muestrales (Stevens *et al.* 2007). El proceso de toma de datos es relativamente fácil y rápido con el mínimo de equipamiento. No obstante, este método tiene como inconveniente que las imá-

genes captadas por la cámara son dependientes de las características del objeto fotografiado, la luz ambiental y de las características de la cámara (Barnard y Funt 2002). Las imágenes deben ser tomadas con la misma cámara debido a que la sensibilidad espectral y grado de compresión de la imagen varía de una cáma-

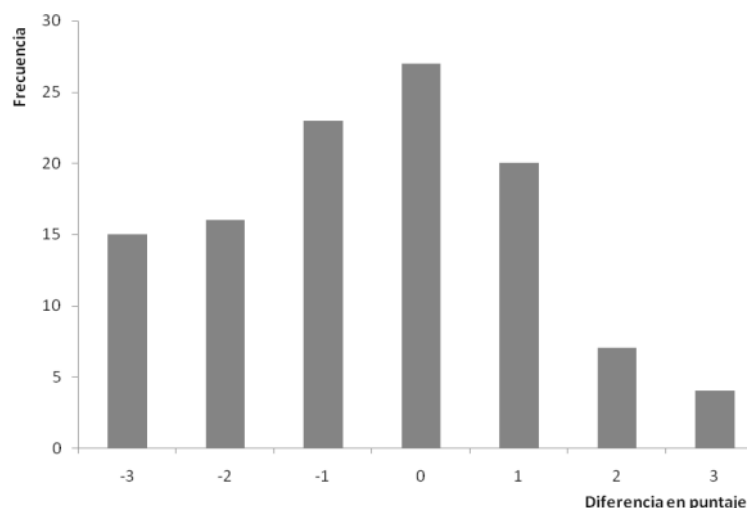


Figura 6: Diferencias en los puntajes dados por los jueces (apreciación visual) y por la evaluación digital de la calidad de la coloración a partir de fotografías a ejemplares de *E. gouldiae*.

Figura 6: Diferencias en los puntajes dados por los jueces y por la evaluación digital a partir de fotografías a ejemplares de *E. gouldiae*.

ra a otra, lo que implica pérdida de información espectral. Las cámaras que normalmente están a nuestro alcance tienen respuestas no lineales, es decir, la cantidad de luz que capta la cámara no es proporcional con la luz del ambiente, por lo que deben ser corregidas siguiendo un protocolo de linealización (Stevens *et al.* 2007), que permite conocer la respuesta real de la cámara para corregir los valores de RGB que se obtienen de las fotografías del plumaje o establecer la intensidad luminosa a la que deben ser tomados los datos.

La interpretación del significado biológico de la variabilidad en intensidades de coloración es compleja, por depender de numerosos factores selectivos relacionados con el ambiente, la alimentación y mecanismos de selección sexual. Sin embargo, la selección artificial posiblemente tienda a distorsionar dichos efectos. Según algunos autores, en *Erythrura gouldiae* el dicromatismo sexual (mal llamado dimorfismo sexual del plumaje) solo afecta el brillo de los colores, pues las fases aparecen en ambos sexos. En la máscara de las hembras, sin embargo, se manifiesta un mayor grado de penetración de la melanina (Southern 1945).

La variabilidad intra-varietal en la coloración del pecho, el vientre y las alas pueden estar dada también porque el color está determinado por la combinación de la microestructura de la pluma y la concentración

de carotenoides (Britton 1998). En las alas las muestras se tomaron tanto en las plumas cobertoras como en las primarias, las cuales difieren en la intensidad del color de ahí que exista variabilidad también en la coloración general de un individuo. En el vientre existe una degradación del color rojo hacia la región posterior dada por una deposición diferencial de pigmentos amarillos derivados de los carotenoides ingeridos en la dieta que al ser depositados en las plumas implican una señal sexual debido al costo metabólico asociado (McGraw y Schuetz 2004).

La elevada variabilidad del color azul de las plumas, tanto a nivel intra-varietal como en un mismo individuo, puede deberse a que este color puede ser el resultado de interacciones físicas de la luz dispersada en la interfase de materiales biológicos de diferentes índices de refracción (Doucet 2002). La variabilidad observada entre los individuos de una variedad, también puede estar incrementada por la inclusión dentro de la muestra de individuos de ambos sexos.

La expresión de los colores rojo y naranja se basa en la deposición en las plumas de los carotenoides obtenidos de semillas que *Erythrura gouldiae* encuentra normalmente en su hábitat (Brush y Seifried, 1968) y que contienen xantofilas y carotenos (Goodwin 1980, McGraw *et al.* 2001), pero que en

cautiverio puede constituir un factor limitante. Esto podría explicar la variabilidad observada en esta área del cuerpo asociado además a que algunos individuos presentan plumas negras en la máscara.

La mayor variabilidad del azul tanto en el color ancestral de la cabeza en las cuatro regiones, intra-individual e intra-varietal, puede deberse a que es un color estructural, resultante de la presencia en las plumas de barbas modificadas que solo reflejan el azul (Britton 1998). En la agrupación por linajes ancestrales hubo mayor variabilidad dentro de una variedad porque en el color ancestral del rostro quedan agrupadas una serie de variedades que presentan diferentes grados de dilución del color del plumaje; por lo que la intensidad del mismo varía. El efecto de la mutación fijada en cautiverio para obtener nuevas variedades pueden alterar la coloración de una región o el cuerpo entero, esto puede explicar porqué en el color de la máscara las diferencias en la coloración son mayores que en las alas, pecho y vientre, donde las diferencias son menos evidentes en algunas variedades pero en otras lo son mucho más.

En la comparación de las variedades en los tres colores se observó que los mayores valores de rojo, verde y azul correspondieron a variedades en las que el color del plumaje del cuerpo se diluye, pues el ave no puede producir pigmentos ni colores estructurales (Britton 1998) y el plumaje tiende a ser blanco al reflejar la mayoría de las longitudes de onda (Senar 2004). Las variedades con los menores valores de intensidades fueron los individuos silvestres y aquellos con las mutaciones de los colores azul y amarillo, donde el color del plumaje no es tan diluido como en los de color pastel, pero además todas son de cabeza negra por lo que tienen melanina en su plumaje y absorben todas las longitudes de onda.

Al analizar los sexos por variedad, se detectaron diferencias debidas a que el color rojo (carácter dominante) y negro (carácter recesivo) de la máscara están ligados al sexo (cromosoma Z), mientras que el color naranja depende de un gen autosómico que controla la síntesis de los carotenoides (Brush y Seifried 1968). Según Pryke (2009 a), tanto en cautiverio como en vida libre las hembras y machos discriminan entre las parejas y demuestran preferencia por aquellas de su propio morfotipo. Además, en vida libre los machos de las variedades silvestre de cabeza roja y negra tienen colores más

intensos que las hembras. Estas diferencias sexuales pueden ser la base para explicar el reconocimiento y selección de la pareja, y del establecimiento de relaciones intra-sexuales de dominancia entre los diferentes morfos (Pryke y Griffith 2006), principalmente en el período no reproductivo lo cual asegura el mantenimiento de las frecuencias temporales y espaciales de la especie (Pryke 2009 b). Contrario a Pryke (2009 a), en este estudio las variedades silvestres y las portadoras de mutaciones no siguieron este modelo pues en algunas las hembras tuvieron valores de RGB mayores que en los machos, esto puede deberse a que el hombre selecciona los individuos más coloridos para criar en cautiverio, así como para la obtención de nuevas variedades a partir de la cría forzada en cautividad de varios morfos. En estos casos la descendencia, aunque fértil, es de baja viabilidad (Pryke 2009 a). Las diferencias del vientre y alas en cuanto a los mayores valores de verde y rojo en los machos con respecto a la intensidad de azul en las hembras resultan en diferencias en la intensidad de los colores de esas regiones del cuerpo lo cual constituye una confirmación del dicromatismo sexual de la especie. Las hembras presentan mayores valores de RGB en el pecho que los machos lo que puede deberse a que esta área del cuerpo pudiera ser una señal de reconocimiento sexual.

Se evidenció que en el pecho, ala y vientre, aumenta la coloración con la edad. Esto se podría explicar porque el individuo va madurando fisiológicamente y con ello la coloración cambia, mediante las mudas sucesivas. En el caso de la máscara se obtuvo un comportamiento diferente, lo cual podría adjudicarse a que la maduración del plumaje de esta región del cuerpo con el crecimiento del ave no ocurra en la porción visible del espectro. La reflectancia ultravioleta en esta área es un tipo de señal importante en el reconocimiento de los individuos, en el establecimiento de un estatus social o en la selección de pareja en muchas aves (Bennett *et al.* 1997, Siitari *et al.* 2002).

Cuando se compara la concordancia entre los dos métodos, existe un bajo porcentaje de concordancia. Esto se debe obviamente a las diferentes apreciaciones y escalas de evaluación. Cuando se estiman las diferencias entre los dos métodos se puede observar que los jueces tienden a sobreestimar los puntajes de la coloración, probablemente porque evalúan también, de manera inconsciente, otras características del

plumaje que determinan la calidad de la pluma. Estas diferencias no indican cual es el mejor método, ya que para ello se requieren de otros factores a considerar, pero evidentemente sugieren que la evaluación digital, al ser más objetiva, puede constituir una herramienta de apoyo para estos procesos de evaluación de los ejemplares en los concursos ornitófilicos.

En resumen, las áreas más variables en la coloración de *Erythrura gouldiae* fueron la máscara del rostro y las alas que, al parecer son áreas involucradas en el reconocimiento individual. En cuanto a las diferencias sexuales, éstas no siguieron el mismo patrón en las variedades ni en todas las áreas del cuerpo analizadas. En la máscara, las hembras de algunas variedades resultaron más coloridas que los machos, debido, posiblemente, a la selección del hombre para criar en cautiverio y obtener nuevas variedades. Con la edad, la coloración del pecho, el vientre y el ala se hizo más intensa pero en la máscara disminuyó debido a que la maduración del plumaje de esta región del cuerpo ocurre al parecer en la región del ultravioleta del espectro.

AGRADECIMIENTOS

A los criadores de aves exóticas, miembros de la Sociedad Ornitológica de Cuba: Rubén, Fraga, Ángel, Yulieski, Mandi, Nelson, Radamés, Antonio, Frank, Juan Carlos y Saul Barrios que aportaron las muestras y sus conocimientos para este estudio.

LITERATURA CITADA

- Anderson M. 1994. Sexual selection. Princeton University Press, Princeton, NJ. 599 pp.
- Bennett A.T. D., I.C. Cuthill, K.J. Patridge y K. Lunau. 1997. Ultraviolet plumage colors predict mate preferences in starlings. *Ecology* 94: 8618–8621.
- Britton D. 1998. Gouldian finch in genetics in color mutations and how they affect pigment synthesis. 1–7.
- Brush A. y H. Seifried. 1968. Pigmentation and feather structure in genetics variants of the Gouldian finch, *Poephila gouldiae*. *The Auk* 85: 416–430.
- Bryant M.B.S. y R. Hayes. 2009. Conservation taxonomy of the Cuban parrot (*Amazona leucocephala*): variation in morphology and plumage. *J. Carib. Ornithol.* 22: 1–18.
- Coyne J.A. y H.A. Orr. 2004. Speciation. Sinauer, Sunderland, M.A. 545 pp.
- Doucet S.M. 2002. Structural plumage coloration, male body size, and condition in the blue-black grassquit. *The Condor* 104: 30–34.
- Endler J.A. 1990. On the measurement and classification of colour in studies of animal colour patterns. *Biol. J. Linn. Soc.* 41: 315–352.
- Endler J.A. y P.W. Mielke. 2005. Comparing entire colour patterns as birds see them. *Biol. J. Linn. Soc.* 86: 405–431.
- Goodwin T.W. 1980. The Biochemistry of the Carotenoids. Plants, vol. I. Chapman y Hall, London 377 pp.
- Graves G.R. 1997. Colorimetric and morphometric gradients in colombian populations of dusky antbirds (*Cercomacra tyrannina*), with a description of a new species, *Cercomacra parkeri*. *Ornithol. Monogr.* 48: 21–35.
- Hamilton W.D. y M. Zuk. 1982. Heritable true fitness and bright birds a role for parasites? *Science* 218: 384–387.
- McGraw K.J., G.E. Hill, R. Stradi y R.S. Parker. 2001. The influence of carotenoid acquisition and utilization on the maintenance of species typical plumage pigmentation in male American goldfinches (*Carduelis tristis*) and northern cardinals (*Cardinalis cardinalis*). *Physiol. Biochem. Zool.* 74: 843–852.
- McGraw K.J. y J.G. Schuetz. 2004. The evolution of carotenoid coloration in estrildid finches: a biochemical analysis. *Comp. Biochem. Phys. B.* 139: 45–51.
- O' Malley C. 2005. National Recovery Plan for the Gouldian Finch (*Erythrura gouldiae*). 1–11.
- Pryke S.R. 2007. Fiery red heads: female dominance among head color morphs in the Gouldian finch. *Behav. Ecol.* 621–627.
- Pryke S.R. 2009a. Sex chromosome linkage of mate preference and color signal maintains assortative mating between interbreeding finches morphs. *Evolution*: 1–9.
- Pryke S.R. 2009b. Is red an innate or learned signal of aggression and intimidation. *Anim. Behav.* 78: 393–398.

- Pryke S.R. y S.C. Griffith. 2006. Red dominates black: agonistic signalling among head morphs in the polymorphic Gouldian finch. *Proc. R. Soc. B.* 273: 949–957.
- Reignier M.F. 2008. Parallel evolution of plumage pattern and coloration in birds: implications for defining avian morphospace. *The Condor* 110: 599–614.
- Schmits- Ornes A. 2006. Using colour spectral data in studies of geographic variation and taxonomy of birds: examples with two hummingbirds genera, *Anthracothorax* and *Eulampis*. *J. Ornithol.* 147: 495–503.
- Senar J.C. 2004. Mucho más que plumas. Monografies del Museu de Ciències Naturals 2: 1–193
- Siitari H., J. Honkavaara, E. Huhta y J. Viitala. 2002. Ultraviolet reflection and female mate choice in the pied flycatcher, *Ficedula hypoleuca*. *Anim. Behav.* 63: 97–102.
- Southern H.N. 1945. Polimorphism in *Poephila gouldiae*. *J. Genet.* 47: 51–57.
- Stevens M., C.A. Párraga, I. C. Cuthill, J. C. Partridge y T. S. Troscianko. 2007. Using digital photography to study animal coloration. *Biol. J. Linn. Soc.* 90: 211–237.
- Tidemann S.C. 1996. Causes of the decline of the Gouldian Finch *Erythrura gouldiae*. *Bird Conserv.*

• • •

Editor para correspondencia: Dennis Denis Ávila