



Universidad Nacional de Córdoba  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Carrera de Ciencias Biológicas

## **Evaluación del dicromatismo y dimorfismo sexual en la cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus*).**

Tesinista: Gigena, Deysi Judith  
Director: Dr. Valdez, Diego Javier.

Centro de Zoología Aplicada  
Año 2021

## **Evaluación del dicromatismo y dimorfismo sexual en la cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus*).**

Tribunal Examinador:

- Nombre y Apellido: Claudio A. Sosa

Firma:



- Nombre y Apellido: Guillermo Sferco

Firma:



- Nombre y Apellido: Paola A. Carrasco

Firma:



Calificación: 10 (Diez)

Fecha: 26 de agosto de 2021

Parte del trabajo realizado en esta tesina de grado fue publicado recientemente en la revista *Avian Research* 2020.

Morales, M.\* , **Gigena, D. J.\***, Benitez-Vieyra, S. M., & Valdez, D. J. (2020). Subtle sexual plumage color dimorphism and size dimorphism in a South American colonial breeder, the Monk Parakeet (*Myiopsitta monachus*). ***Avian Research*, 11, 1-9.**

DOI: <https://doi.org/10.1186/s40657-020-00204-x>

\*Igual contribución

## Índice

<b>Resumen</b> .....	5
<u>Palabras clave:</u> .....	5
<b>1. Introducción</b> .....	6
<b>2. Objetivo</b> .....	9
<b>3. Materiales y métodos</b> .....	9
<b>3.1. Muestreo de individuos</b> .....	9
<b>3.2. Espectrofotometría</b> .....	9
<b>3.3. Morfometría</b> .....	10
<b>3.4. Sexado</b> .....	10
<b>3.5. Análisis estadístico</b> .....	10
<b>4. Resultados</b> .....	11
<b>4.1. Muestreo y sexado</b> .....	11
<b>4.2. Espectros de reflectancia</b> .....	11
<b>4.3. Variables colorimétricas clásicas</b> .....	13
<b>4.4. Morfometría</b> .....	15
<b>5. Discusión y Conclusión</b> .....	17
<b>6. Agradecimientos</b> .....	20
<b>7. Bibliografía</b> .....	20

## Resumen

El dimorfismo sexual hace referencia a diferencias tanto en la coloración como en el tamaño entre hembras y machos de una especie, el cual suele asociarse a fuerzas de selección que actúan diferencialmente en ambos sexos. Los loros (familia Psittacidae) son uno de los grupos de aves más coloridos del mundo cuyos colores se producen tanto estructuralmente como a través de pigmentos inusuales como las psitacofulvinas. Históricamente a muchas especies se las ha considerado monógamas, sexualmente monomórficas y monocromáticas según la visión humana (tricromática), pero este abordaje es incorrecto si consideramos que la visión aviar es tetracromática. Sin embargo, estudios que utilizaron análisis morfométricos y técnicas espectrofotométricas han revelado que el dimorfismo sexual en tamaño y coloración del plumaje entre algunas especies es más común de lo que se pensaba. La cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus*), un loro nativo de Sudamérica, es una especie interesante para el estudio de la coloración del plumaje y del tamaño ya que se le considera sexualmente monocromática y monomórfica. Trabajos recientes muestran que la cotorra Argentina tiene comportamientos de paternidad extra-par e incluso presenta tríos reproductivos, lo que sugiere que la selección sexual podría tener un rol importante en esta especie de loro; presentando un plumaje sexualmente dimórfico (aunque imperceptible para los humanos) y diferencias sexuales en tamaño. Para abordar esta problemática realizamos un estudio espectrofotométrico (en el rango de visión aviar 300–700 nm) del color del plumaje en doce regiones corporales, analizando las variables colorimétricas clásicas Tono, Brillo y Saturación. Además, llevamos a cabo un análisis morfométrico general.

El análisis de las variables colorimétricas clásicas demostró que la cotorra Argentina es sexualmente monocromática para las doce regiones corporales estudiadas, mientras que el análisis morfométrico reveló la existencia de sutiles diferencias sexuales en el tamaño del cuerpo (pico y peso). Aunque la cotorra Argentina muestra comportamientos de paternidad extra-par e incluso tríos reproductivos que podrían aumentar el dimorfismo sexual, estos comportamientos ocurren entre individuos altamente emparentados; quizás las altas tasas de endogamia que presenta esta especie sean las responsables del monocromatismo del plumaje entre hembras y machos y de las sutiles diferencias sexuales en el tamaño corporal observadas.

Palabras clave: Cotorra Argentina, *Myiopsitta monachus*, espectrofotometría, morfometría, endogamia, sistema reproductivo.

## **Evaluación del dicromatismo y dimorfismo sexual en la cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus*).**

### **1. Introducción.**

Psittaciformes (loros, papagayos, cacatúas y periquitos) es un orden bastante fácil de reconocer debido a que suelen ser aves de gran tamaño, ruidosas y de llamativos colores. Presentan novedades evolutivas que los distinguen de otras aves, como un pico grande y ganchudo, pies zigodáctilos y lengua carnosa (Forshaw 1989; Juniper & Parr 1998; Wright et al. 2008; Hackett et al. 2008). Este grupo de aves comprende tres superfamilias: Strigopoidea, Cacatuoidea y Psittacoidea (de Kloet & de Kloet 2005; Tokita et al. 2007; Wright et al. 2008; Schweizer et al. 2010, 2011; Joseph et al. 2011). Esta última está representada por tres familias: Psittaculidae, Psittrichasidae y Psittacidae que comprenden loros africanos y del nuevo mundo, los cuales se encuentran entre las aves más inteligentes y coloridas; lo que las ha llevado a convertirse en el grupo de aves silvestres que sufre la mayor explotación. La captura, la pérdida de hábitat, la caza y la competencia con especies invasoras han mermado las poblaciones salvajes y por ello su tráfico es declarado ilegal. Los loros (Familia Psittacidae) poseen el mayor número de especies amenazadas que cualquier otra familia de aves (Juniper & Parr 1998; Baillie et al. 2004).

Ahora bien, si nos centramos en el color de su plumaje, los loros han desarrollado una forma bastante particular de producir su llamativa y brillante coloración. La novedad en este grupo de aves radica en la presencia de psittacofulvinas, pigmentos sintetizados endógenamente que no se encuentran en ningún otro organismo y que producen los colores rojo, naranja y amarillo (Stradi et al. 2001; McGraw & Nogueira 2005; McGraw 2006); mientras que, la coloración blanca, ultravioleta, azul e iridiscente del plumaje es debida a la ultra-estructura de las plumas (Bennett & Cuthill 1994; Prum 2006). Sumado a esto, la coloración negra y marrón está dada por la presencia del pigmento melanina de amplia distribución en el reino animal (Taylor & Warner 1986). Por último, la combinación de las psittacofulvinas con la ultra-estructura de la pluma es la responsable del color verde característico en todos los loros (Dyck 1971; Nemésio 2001; McGraw 2006), a diferencia de otras aves que combinan pigmentos carotenoides con la ultra-estructura de las plumas para crear este color (Dyck 1971, Prum et al. 1999).

A pesar de su llamativa coloración, a simple vista es difícil la distinción de los sexos en muchas especies de loros, por lo que durante mucho tiempo a gran parte de estos se los

ha clasificado como monocromáticos, monomórficos y monógamos (Del Hoyo et al. 1992, Forshaw 2010). Pero estudios de los últimos 15 años encontraron que esta afirmación no siempre es así, aves clasificadas como sexualmente monocromáticas resultaron ser dicromáticas en la región UV del espectro, como es el caso del loro hablador (*Amazona aestiva*; Santos et al. 2006) y del loro barranquero (*Cyanoliseus patagonus*; Masello et al. 2009) como los exponentes sudamericanos más conocidos. Estas observaciones se lograron gracias al estudio de la coloración del plumaje por medio de la técnica de espectrofotometría, la cual permite hacer un análisis objetivo del color. Es por eso, que es importante tener en cuenta el sistema visual de las aves a la hora de estudiar su coloración. Las aves poseen un sistema visual tetracromático con cuatro tipos de células conos en sus retinas (4<sup>to</sup> cono UV) mientras que los mamíferos (principalmente el ser humano) poseen un sistema visual tricromático (sin conos UV) (Hill & McGraw 2006), por lo que la interpretación del color del plumaje por medio de la sensibilidad ocular humana puede estar sesgada.

Por otro lado, el dimorfismo sexual fue tradicionalmente explicado como una consecuencia de la variación de los sistemas reproductivos y del patrón de cuidado parental (Darwin 1871, Wallace 1889, Butcher & Rohwer 1989, Andersson 1994). Por ejemplo, la poligamia lleva a que el sexo competitivo sea más grande y ornamental que el sexo selectivo, mientras que grandes diferencias sexuales en cuidado parental lleva al sexo cuidador a desarrollar un plumaje más críptico. Pero dos observaciones más detalladas han cambiado este punto de vista tradicional. Por un lado, se encontró que en muchas especies de aves polígamas ambos sexos son monomórficos en relación al tamaño y color del plumaje (Hoglund 1989; Trail 1990; Oakes 1992). Por el otro, muchas especies monógamas que presentan el clásico cuidado biparental, resultaron ser altamente dimórficas (Møller 1986; Harvey 1991).

Los loros no escapan a esta realidad, ya que debido a los pocos estudios morfométricos realizados en ellos, se los ha clasificado como monomórficos en su gran mayoría. En Sudamérica solo en algunas especies de loros se ha estudiado el dimorfismo sexual detalladamente, como por ejemplo en el loro hablador y en el loro barranquero, donde se observó que los machos son ligeramente (alrededor de un 5%) más grandes y más pesados que las hembras (Berkunsky et al. 2009, Masello et al. 2009).

En este contexto la cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus*), la cual es nativa de Sudamérica, no está fuera de esta clasificación, ya que ha sido considerada tradicionalmente como monocromática y monomórfica (Figura 1) (Del Hoyo et al. 1992). La cotorra es una especie ampliamente distribuida en Paraguay, Uruguay, Bolivia, sur de

Brasil, norte y centro de Argentina (Meyer de Schauensee 1971) donde construyen grandes nidos comunales formados con palitos, con múltiples cámaras individuales que pueden albergar varias parejas (Figura 1), a diferencia de los demás psitácidos que lo hacen en agujeros o cavidades (Forshaw 1978). Históricamente la cotorra Argentina fue catalogada como monocromática, monomórfica y monógama, con características de cría cooperativa, pero estudios recientes demostraron que se comporta como una especie promiscua, con paternidad extra-par, tríos reproductivos y parasitismo intra-específico (Martínez et al. 2013, Bucher et al. 2016). Estas observaciones comportamentales y genéticas nos hacen pensar que quizás esta especie de loro Sudamericano presente algún tipo de dicromatismo sexual oculto a la visión humana al igual que algún tipo de dimorfismo sexual. Si bien existe información de su biología reproductiva, hasta la fecha no hay estudios objetivos que intenten arrojar luz sobre si esta especie presenta o no diferencias sexuales tanto a nivel de la coloración de su plumaje como de su tamaño.



**Figura 1.** Ejemplar de la cotorra Argentina (*M. monachus*) donde se puede apreciar su llamativa coloración verde, azul y gris (izquierda). A pesar de su llamativa coloración, no se logra distinguir entre los sexos (centro). Típico nido comunal construido de ramitas espinosas con múltiples cámaras (derecha). **Fotos: Deysi Gigena.**



## **2. Objetivo.**

Determinar si existen diferencias sexuales en individuos adultos de la cotorra Argentina (*M. monachus*) realizando dos tipos de análisis, uno colorimétrico y otro morfométrico.

## **3. Materiales y métodos.**

### **3.1. Muestreo de individuos.**

Este estudio se llevó a cabo en estricto apego a las normas éticas para la investigación en animales de laboratorio, granja y especies silvestres y con la aprobación previa del Comité de Ética del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) (Resolución No. 1047 ANEXO II, 2005) en el marco del proyecto del Dr. Diego Valdez. Los permisos necesarios para la captura de la cotorra Argentina (*M. monachus*) fueron adquiridos en el Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de Córdoba, Argentina, a través de la Secretaría de Ambiente y Cambio Climático para capturar especímenes de cotorras con fines científicos.

Las aves se capturaron mediante el uso de trampas pasivas rectangulares cebadas con semillas de avena, girasol, maíz, maní y provistas de receptáculo de agua en su interior. Las mismas fueron colocadas dentro del predio del Ex-Zoológico de Córdoba (31°25'31.79"S, 64°10'29.92"W) durante los meses de mayo y junio de 2017 evitando así el período de muda, el cual se da desde diciembre hasta abril (Navarro et al. 1992). Las trampas fueron revisadas cada una hora, e inmediatamente después de ser capturadas, las aves fueron trasladadas al Centro de Zoología Aplicada (dentro del predio del ex-zoológico) en jaulas cubiertas con lona opaca. Las cotorras se sacrificaron con una inyección intramuscular de EUTHANYLE®. Luego del sacrificio se realizaron las determinaciones espectrofotométricas sobre el plumaje en su disposición natural y se tomaron todas las variables morfométricas. Una vez tomados los datos necesarios, cada ave fue rotulada e identificada y quedó almacenada en freezer -80°C para ser utilizada en otros experimentos del grupo.

### **3.2. Espectrofotometría.**

Las determinaciones espectrofotométricas (reflectancia) se realizaron en 12 regiones corporales (frente, corona, nuca, mejillas, espalda, pecho, vientre, cobertoras alares primarias, cobertoras alares secundarias, primarias, secundarias y cola) y se llevaron a cabo dentro del rango visible de las aves (300 a 700 nm). Para esto se usó un espectrofotómetro Ocean Optics USB4000 equipado con una fuente de luz halógena y de

deuterio (830 Douglas Ave., Dunedin, FL, USA 34698), conectados al sensor por un cable de fibra óptica bifurcada. El plumaje fue iluminado y la luz reflejada fue captada a 45° con la superficie. Un estándar de blanco (100% de reflectancia) (Ocean Optics, WS-1-SS White Standard) fue utilizado para recalibrar el equipo entre las determinaciones a los fines de corregir cualquier desvío del funcionamiento del equipo. La reflectancia en cada región corporal se determinó con el software SpectraSuite (Ocean Optics, Inc.), y se consideró el promedio de tres mediciones por región corporal.

El estudio del color puede ser abordado analizando tres componentes del mismo o variables colorimétricas clásicas: el **Brillo**, el cual da una idea de la cantidad de blanco que posee un color; el **Tono**, longitud de onda (nm) propiamente dicha del color observado; y la **Saturación**, la cual indica cuán puro es un color. Para el estudio del color del plumaje de la cotorra Argentina se utilizó el paquete “pavo” (Maia et al. 2013) para el software R, que permite el análisis de las variables colorimétricas clásicas.

### **3.3. Morfometría.**

Una vez realizada la espectrofotometría, a cada individuo se le midió la altura, el ancho y la longitud del pico (desde la punta hasta la base del cráneo), la longitud del tarso, la longitud del ala y la longitud total. Para esto se utilizó un calibre digital (rango 0-150 mm; resolución 0.01 mm; precisión  $\pm 0.02$  mm) y una regla de metal milimétrica (50 cm). Los animales también se pesaron con una balanza de precisión de la marca PESOLA® (precisión  $\pm 2$  gr).

### **3.4. Sexado.**

Luego de obtener los valores de reflectancia y medidas morfométricas, se procedió a realizar el sexado de los individuos mediante inspección gonadal según Bucher et al. 1977. Posteriormente, los valores morfométricos y de reflectancia fueron asociados al sexo de cada ave.

### **3.5. Análisis estadístico.**

En una primera etapa descriptiva los espectros de reflectancia en ambos sexos se expresaron como media  $\pm 2EE$  y se determinó la presencia o no de regiones superpuestas.

Luego de esto se calcularon las variables colorimétricas clásicas Tono, Brillo y Saturación para cada región corporal. Estos resultados se analizaron con un análisis de varianza (ANOVA) y test a posteriori (Tukey) con un nivel de significancia  $p < 0.05$ .

Posteriormente se examinó la variación morfológica multivariada entre sexos en los cinco rasgos detallados anteriormente por medio de un análisis de componentes principales (PCA). Además, se aplicó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) para evaluar las diferencias entre sexos. Cuando se detectó un efecto significativo, se realizó un ANOVA anidado univariado ( $p < 0.05$ ) adicional para determinar qué rasgos representan un efecto significativo en el MANOVA.

#### **4. Resultados.**

##### **4.1. Muestreo y sexado.**

El muestreo realizado permitió capturar un total de 68 cotorras Argentinas, 32 resultaron ser machos y 36 hembras.

##### **4.2. Espectros de reflectancia.**

En la Figura 2 se observan los espectros de reflectancia obtenidos para las doce regiones corporales que se analizaron (frente, corona, nuca, mejillas, espalda, pecho, vientre, cobertoras alares primarias, cobertoras alares secundarias, primarias, secundarias y cola). A simple vista podemos identificar que hay superposición de los valores medios y de las bandas que representan los dos errores estándares correspondientes a hembras y machos en todas las regiones corporales analizadas.



**Figura 2.** Espectros de reflectancia del plumaje de la cotorra Argentina (*M. monachus*) para cada región corporal. En línea continua se representa el valor medio para hembras (rojo) y machos (azul) junto con las bandas de  $\pm 2$  errores estándares.

### **4.3. VARIABLES COLORIMÉTRICAS CLÁSICAS.**

En la **Tabla 1** observamos los valores de las variables colorimétricas clásicas, Tono, Brillo y Saturación UV para todas las regiones corporales estudiadas entre hembras y machos de la cotorra Argentina.

**Ninguna región corporal mostró diferencias significativas en tonalidad, brillo y saturación UV entre los sexos (en todos los casos  $F_{(1,66)} \leq 2.43$ ;  $p \geq 0.123$ ).**

Para las regiones corporales frente, corona, mejillas, pecho, vientre y secundarias no se calculó el Tono debido a que son regiones de color gris claro y gris oscuro (secundarias), careciendo de sentido alguno el cálculo de dicha variable.

Por otra parte las plumas primarias y cobertoras primarias presentaron un tono aproximado entre 470 a 530 nm (Azul, azul verdoso), mientras que el resto de las regiones corporales nuca, espalda, cola y cobertoras secundarias son de color verde ( $\approx 500$  a 580 nm).

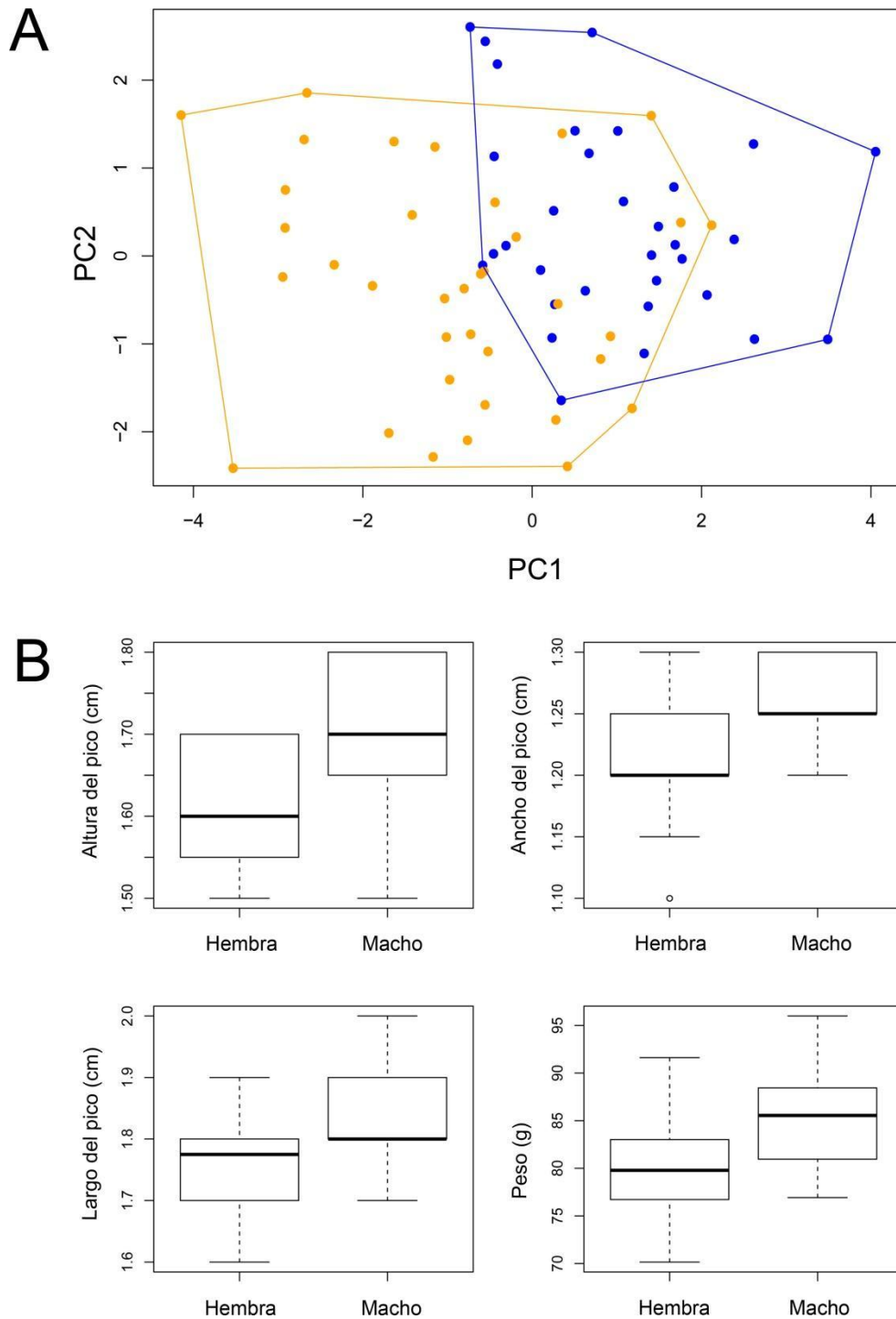
**Tabla 1.** Variables colorimétricas clásicas: Tono, Brillo y Saturación UV para las diferentes regiones corporales de la cotorra Argentina.

	TONO			BRILLO			SATURACIÓN UV		
	♀	♂	F y p	♀	♂	F y p	♀	♂	F y p
FRENTE	-	-	-	46.04±1.84	48.92±1.63	$F_{(1,68)}=1.33$ $p=0.252$	0.24±0.004	0.25±0.003	$F_{(1,68)}=2.43$ $p=0.123$
CORONA	-	-	-	32.19±1.48	32.99±1.64	$F_{(1,68)}=0.13$ $p=0.719$	0.24±0.004	0.25±0.004	$F_{(1,68)}=2.41$ $p=0.124$
NUCA	584.5±14.16	575.18±15.26	$F_{(1,68)}=0.07$ $p=0.788$	23.08±0.66	21.82±0.65	$F_{(1,68)}=1.82$ $p=0.18$	0.22±0.006	0.23±0.006	$F_{(1,68)}=0.50$ $p=0.479$
MEJILLAS	-	-	-	49.36±1.34	52.14±1.71	$F_{(1,68)}=1.66$ $p=0.201$	0.24±0.003	0.23±0.004	$F_{(1,68)}=1.14$ $p=0.28$
ESPALDA	501.55±19.71	476.21±22.92	$F_{(1,68)}=0.71$ $p=0.403$	19.30±0.55	18.75±0.59	$F_{(1,68)}=0.44$ $p=0.505$	0.24±0.005	0.24±0.007	$F_{(1,68)}=0.53$ $p=0.466$
PECHO	-	-	-	38.43±1.26	39.76±1.12	$F_{(1,68)}=0.60$ $p=0.44$	0.21±0.004	0.22±0.005	$F_{(1,68)}=0.43$ $p=0.514$
VIENTRE	-	-	-	44.92±1.12	45.35±1.18	$F_{(1,68)}=0.06$ $p=0.79$	0.21±0.003	0.21±0.003	$F_{(1,68)}=0.08$ $p=0.777$
COBERTORAS PRIMARIAS	472.69±15.89	480.53±14.21	$F_{(1,68)}=0.13$ $p=0.717$	12.63±0.43	12.14±0.44	$F_{(1,68)}=0.61$ $p=0.435$	0.35±0.01	0.35±0.01	$F_{(1,68)}=2.04$ $p=0.157$
COBERTORAS SECUNDARIAS	575.38±17.89	587.09±14.86	$F_{(1,68)}=0.24$ $p=0.621$	18.32±0.67	18.47±0.57	$F_{(1,68)}=0.02$ $p=0.867$	0.23±0.01	0.24±0.01	$F_{(1,68)}=0.35$ $p=0.555$
PRIMARIAS	532.30±7	528.5±7.7	$F_{(1,68)}=0.13$ $p=0.71$	13.04±0.35	13.47±0.49	$F_{(1,68)}=0.51$ $p=0.47$	0.32±0.007	0.33±0.008	$F_{(1,68)}=0.99$ $p=0.32$
SECUNDARIAS	-	-	-	10.54±0.52	9.85±0.39	$F_{(1,68)}=1.06$ $p=0.306$	0.31±0.011	0.32±0.013	$F_{(1,68)}=0.42$ $p=0.51$
COLA	536.58±12.22	524.34±15.39	$F_{(1,68)}=0.39$ $p=0.531$	15.11±0.59	15.9±0.56	$F_{(1,68)}=0.90$ $p=0.345$	0.25±0.01	0.25±0.01	$F_{(1,68)}=0.14$ $p=0.701$

Las diferencias entre machos y hembras se evaluaron con un análisis de varianza (ANOVA) y un test a posteriori de Tukey con un nivel de significancia  $p \leq 0.05$ . Los resultados se presentan como Media  $\pm$  Error Estándar.

#### 4.4. Morfometría.

En el análisis morfométrico observamos que los tres primeros componentes principales del PCA explicaron el 72,31% de la variación total registrada entre los individuos de la cotorra Argentina (Figura 3). Todos los rasgos tuvieron valores positivos similares en PC1, lo que sugiere que este componente está asociado con diferencias generales de tamaño entre los individuos (Tabla 2). Los rasgos del pico y el peso total alcanzaron valores positivos en PC2, mientras que la longitud del ala, la longitud del tarso y la longitud total alcanzaron valores negativos (Tabla 2). Por lo tanto, los valores positivos de PC2 corresponden a aves más pesadas con picos más prominentes, pero con alas, tarso y longitud total más cortos. Lo contrario es observado para las aves con valores de PC2 negativos. Finalmente, observamos que la longitud total de los individuos tuvo un fuerte valor positivo en PC3, mientras que el ancho del pico alcanzó un valor robusto y negativo (Tabla 2), lo que indica que este PC expresa diferencias entre los individuos en estos rasgos. El análisis estadístico MANOVA indicó que existen diferencias significativas entre hembras y machos de la cotorra Argentina ( $\lambda$  de Wilks = 0,554,  $p < 0,0001$ ) y los análisis ANOVAs univariados demostraron que estas diferencias sexuales se deben principalmente a las variables peso corporal ( $F_{(1,66)} = 18,524$ ,  $p = 0,0001$ ), altura del pico ( $F_{(1,66)} = 27,118$ ,  $p < 0,0001$ ), largo del pico ( $F_{(1,66)} = 13,471$ ,  $p = 0,0005$ ) y ancho del pico ( $F_{(1,66)} = 25,183$ ,  $p < 0,0001$ ), pero no así al largo del tarso, ala y largo total (en todos los casos  $F_{(1,66)} < 2,038$ ,  $p > 0,158$ ; Figura 3).



**Figura 3.** Diferencias morfológicas entre machos y hembras en la cotorra Argentina. **A)** PCA para las cinco variables analizadas (alto, ancho y largo del pico; largo del tarso; largo total, peso total y largo del ala). Los polígonos indican: hembras en naranja y machos en azul. **B)** Diagramas de caja y errores de las variables morfométricas en las que se detectaron diferencias significativas mediante un análisis de varianza unidireccional (ANOVA). Los recuadros indican los percentiles 25 y 75 (cuartiles inferior y superior, respectivamente) de la distribución, mientras que la banda central indica la mediana. Los errores indican 1,5 veces el rango intercuartílico. Los puntos indican valores atípicos



**Tabla 2:** Variables y proporción de la varianza explicada por los primeros tres componentes principales

<b>Variable</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>
Largo del pico	0.428	0.108	0.398
Ancho del pico	0.385	0.402	<0.001
Alto del pico	0.429	0.265	-0.508
Peso total	0.336	0.432	0.163
Largo de las alas	0.380	-0.444	-0.165
Largo total	0.338	-0.435	0.578
Largo del tarso	0.338	-0.428	-0.442
<b>Proporción explicada de la varianza</b>	<b>0.395</b>	<b>0.218</b>	<b>0.110</b>

## 5. Discusión y Conclusión.

En esta tesina realizamos por primera vez un análisis objetivo de la coloración del plumaje en hembras y machos adultos de la cotorra Argentina, por medio del estudio de las variables colorimétricas clásicas Tono, Brillo y Saturación UV. Sumado a esto, también es el primer trabajo en llevar a cabo un estudio detallado de la morfometría en adultos de ambos sexos.

Nuestros resultados indican, que a nivel de la coloración del plumaje, no existen diferencias significativas entre hembras y machos adultos, en ninguna de las doce regiones corporales analizadas. Más aún, al observar los espectros de reflectancia medios para ambos sexos, podemos apreciar que hay regiones corporales donde dichos valores son exactamente los mismos (Figura 2).

A pesar de que la unidad fundamental de estructura social en las poblaciones de la cotorra Argentina es la pareja (Hobson et al. 2014, 2015), lo que indicaría que son monógamas, estudios llevados a cabo por Martínez et al. y Bucher et al. mostraron que las poblaciones de la cotorra Argentina poseen comportamientos de paternidad extra-par, parasitismo intraespecífico y tríos reproductivos (Martínez et al. 2013; Bucher et al. 2016). Estos comportamientos reproductivos nos llevaron a pensar que esta especie de loro Sudamericano presentaría algún tipo de dicromatismo sexual en su cuerpo, similar, o inclusive mayor a lo observado en el loro hablador y el loro barranquero (Santos et al. 2006, Masello et al. 2009), cuyos sistemas de apareamiento han sido confirmados como monógamos estrictos con cuidados biparentales. En estas especies de loros los individuos machos presentan características espectrofotométricas estadísticamente distintas a las de las hembras, esto es, mayor saturación en la región UV y mayor

saturación en la región rojo del parche de incubación en el caso del loro barranquero (Masello et al. 2009). Pero lo cierto es que los comportamientos reproductivos descritos por Martínez et al. y Bucher et al. en la cotorra Argentina ocurren en contextos de altos niveles de endogamia, esto es, los individuos se relacionan principalmente con parientes estrechos o cercanos. Estos niveles elevados de endogamia en las poblaciones de la cotorra Argentina quizás expliquen la falta de dicromatismo sexual observado en nuestro estudio. Individuos altamente relacionados que posean una coloración similar, al aparearse entre sí, generarían más individuos idénticos lo que llevaría a la fijación de dicho carácter en la población.

Una posible explicación para los niveles elevados de endogamia que las poblaciones de la cotorra Argentina poseen, quizás esté relacionado al tipo de dispersión de las nuevas generaciones que la especie presenta (Martín & Bucher 1993). Martín y Bucher en 1993 describieron que las distancias de dispersión que la cotorra Argentina tiene son relativamente pequeñas en comparación a otros loros (Martín & Bucher 1993), la mayor proporción de individuos se dispersa a una distancia de alrededor de 500 metros de distancia a la redonda del nido de nacimiento, alcanzando en algunos casos los 2.5 km. La alta densidad de individuos y la baja distancia de dispersión facilitarían el entrecruzamiento de individuos altamente emparentados, comportamiento que llevaría a manifestar un monocromatismo sexual.

El fenómeno opuesto se observa cuando la cotorra Argentina se comporta como una especie exótica e invasora en otras regiones del mundo, donde su distancia de dispersión puede llegar hasta los 100 km, favoreciendo así la reducción de los valores endogámicos (Da Silva et al. 2010). A pesar de haber observado una reducción de los niveles de endogamia y una mayor distancia de dispersión en su rango de distribución foráneo, no existen hasta el momento estudios espectrofotométricos en dichas poblaciones que intenten demostrar la existencia o no de dicromatismo sexual en esta especie.

Por el contrario, el análisis morfométrico de ambos sexos llevado a cabo en nuestro estudio pone en evidencia un leve dimorfismo sexual, principalmente asociado al tamaño del pico en general y al peso total; siendo los machos más pesados ( $\approx 6\%$ ) y con picos más grandes ( $\approx 3\%$ ) que las hembras. Estas observaciones morfométricas, en especial el peso total, son similares a las descritas para el loro barranquero, donde los machos son alrededor de un 5% más grande que las hembras (Masello & Quillfeldt 2003, Masello et al. 2009).

Si bien las diferencias morfométricas son estadísticamente significativas, los valores absolutos de dichas diferencias son muy sutiles, por ejemplo, de un milímetro o menos

para las dimensiones del pico (Figura 3B). Estos valores tan sutiles nos hacen cuestionar la significancia biológica de los mismos, ¿las cotorras lo perciben?, ¿machos con picos grandes se aparean siempre con hembras de pico más chicos o viceversa?

Con respecto al peso total las diferencias fueron más perceptibles, con valores de alrededor de 5grs ( $\approx 6\%$ ) de diferencia entre machos y hembras, algo similar a lo registrado por Masello & Quillfeldt en el loro barranquero (Masello & Quillfeldt 2003). ¿Es posible que las hembras y machos de la cotorra Argentina se distingan entre sí por medio de la percepción del peso? Al respecto, Martínez y colaboradores (Martinez et al. 2018) encontraron que los machos de cotorra Argentina con mayor peso y con picos más grandes se aparean con hembras más pesadas y con picos más grandes, pero los autores especulan con que esta observación puede deberse a que (de manera similar a otros loros) las cotorras Argentinas podrían formar parejas duraderas (desde temprana edad) y no por apareamiento selectivo (selección sexual) (Martín & Bucher 1993). La única forma de corroborar esta idea es realizando experimentos de selección sexual en condiciones controladas.

Si bien no existen diferencias entre hembras y machos a nivel de su coloración y sus diferencias morfométricas están en duda, entonces surge la pregunta de ¿cómo hembras y machos son capaces de distinguirse para formar parejas? A diferencia del caso del periquito australiano (*Melopsittacus undulatus*), donde se han documentado diferencias sexuales en el color de la cera y en sus vocalizaciones (Baltz & Clark 1996; Nespor et al. 1996; Hile et al. 2000), en la cotorra Argentina sólo se han estudiado las vocalizaciones grupales dentro de las colonias durante las interacciones sociales (llamada de amenaza, llamada de alarma, llamada de vuelo, llamada de contacto, etc.) (Martella & Bucher 1990). Por lo que se desconoce si existen o no diferencias sexuales en las vocalizaciones en esta especie. Por otra parte, se han reportado diferencias de comportamiento sexual en diferentes especies de loros (pavonearse repetidamente, crestas elevadas, pavonearse hacia adelante y hacia atrás a lo largo de una percha, inclinar la cabeza, ensanchar las alas, etc.) (Del Hoyo et al. 1992), pero solo comportamientos repetitivos de pavonearse han sido observados en la cotorra Argentina (Eberhard 1998), lo que indica que quizás sea una combinación de llamadas y comportamientos lo que hace que los sexos se puedan distinguir entre sí.

## Conclusión.

En conclusión, este estudio reporta por primera vez un dimorfismo sexual solamente en parámetros morfométricos (tamaño de pico y peso) en esta especie de loro nativo de América del Sur, la cotorra Argentina.

A futuro se deben realizar estudios integrales dirigidos a discriminar diferencias sexuales en las vocalizaciones y en los comportamientos sexuales para llegar a una mejor comprensión del reconocimiento entre hembras y machos de esta especie.

## 6. Agradecimientos.

Quiero agradecer a toda mi familia y amigos por el apoyo incondicional y dedicar este trabajo a la memoria de mi papá.

Al Dr. Santiago Benitez-Vieyra del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV-CONICET-UNC) por el asesoramiento y la ayuda brindada con los análisis estadísticos.

Gracias también a la Dra. Alicia Sérsic y el Dr. Andrea Cocucci, del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV-CONICET-UNC), por facilitarnos el espectrofotómetro.

Al Dr. Gerardo Leynaud, director del Centro de Zoología Aplicada, por permitirme contar con las instalaciones del establecimiento.

Gracias al ex-Zoológico de Córdoba por permitirme realizar el muestreo dentro del predio. Y finalmente agradecer a Macarena Morales, por la ayuda que me proporcionó durante el muestreo y sexado de los individuos.

## 7. Bibliografía.

- Andersson, M. B. (1994). *Sexual selection*. Princeton University Press
- Baillie, J. E., Hilton-Taylor, C., & Stuart, S. N. (2004). IUCN red list of threatened species. *A global species assessment*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 24, 1-191.
- Baltz, A. P., & Clark, A. B. (1996). Cere colour as a basis for extra-pair preferences of paired male budgerigars (*Melopsittacus undulatus*: Psittacidae: Aves). *Ethology*, 102(1), 109-116.
- Bennett, A. T., & Cuthill, I. C. (1994). Ultraviolet vision in birds: what is its function?. *Vision research*, 34(11), 1471-1478.

- Berkunsky, I., Mahler, B., & Rebores, J. C. (2009). Sexual dimorphism and determination of sex by morphometrics in Blue-fronted Amazons (*Amazona aestiva*). *Emu-Austral Ornithology*, 109(3), 192-197.
- Bucher, E. H., Martínez, J. J., & de Aranzamendi, M. C. (2016). Genetic relatedness in Monk Parakeet breeding trios. *Journal of ornithology*, 157(4), 1119-1122.
- Bucher, E., Gómez, E., Di Tada, I., & Reati, G. (1977). Ecología de la reproducción de la paloma *Zenaida auriculata*. Variaciones estacionales en peso corporal, gónadas, reservas de lípidos y muda. *Ecosur*, 4(7), 47-67.
- Butcher, G. S., & Rohwer, S. (1989). The evolution of conspicuous and distinctive coloration for communication in birds. In *Current ornithology* (pp. 51-108). Springer, Boston, MA.
- Da Silva, A. G., Eberhard, J. R., Wright, T. F., Avery, M. L., & Russello, M. A. (2010). Genetic evidence for high propagule pressure and long-distance dispersal in monk parakeet (*Myiopsitta monachus*) invasive populations. *Molecular Ecology*, 19(16), 3336-3350.
- Darwin, C. (1871). *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. London: Murray.
- de Kloet, R. S., & de Kloet, S. R. (2005). The evolution of the spindlin gene in birds: sequence analysis of an intron of the spindlin W and Z gene reveals four major divisions of the Psittaciformes. *Molecular phylogenetics and evolution*, 36(3), 706-721.
- Del Hoyo, J., Del Hoyo, J., Elliott, A., & Sargatal, J. (1992). *Handbook of the birds of the world* (Vol. 1, No. 8). Barcelona: Lynx edicions.
- Dyck, J. (1971). Structure and spectral reflectance of green and blue feathers of the rose-faced lovebird (*Agapornis roseicollis*). *Biol. Skr.*, 18(2), 1-67.
- Eberhard, J. R. (1998). Breeding biology of the Monk Parakeet. *The Wilson Bulletin*, 463-473.
- Forshaw, J. M. (1978). *Parrots of the World*. Melbourne, Lansdowne Editions.
- Forshaw, J. M. (1989). *Parrots of the World.*, 3rd edn.(Lansdowne Editions: Sydney.).
- Forshaw, J. M. (2010). *Parrots of the World* (Vol. 70). Princeton University Press.
- Hackett, S. J., Kimball, R. T., Reddy, S., Bowie, R. C., Braun, E. L., Braun, M. J., ... & Yuri, T. (2008). A phylogenomic study of birds reveals their evolutionary history. *science*, 320(5884), 1763-1768.

- Harvey, P. H. (1991). Sexual selection. *Behavioural ecology: an evolutionary approach*.
- Hile, A. G., Plummer, T. K., & Striedter, G. F. (2000). Male vocal imitation produces call convergence during pair bonding in budgerigars, *Melopsittacus undulatus*. *Animal Behaviour*, 59(6), 1209-1218.
- Hill, G. E., & McGraw, K. J. (2006). Function and evolution. *Bird coloration*, 2.
- Hobson, E. A., Avery, M. L., & Wright, T. F. (2014). The socioecology of Monk Parakeets: Insights into parrot social complexity. *The Auk: Ornithological Advances*, 131(4), 756-775.
- Hobson, E. A., John, D. J., McIntosh, T. L., Avery, M. L., & Wright, T. F. (2015). The effect of social context and social scale on the perception of relationships in monk parakeets. *Current Zoology*, 61(1), 55-69.
- Hoglund, J. (1989). Size and plumage dimorphism in lek-breeding birds: a comparative analysis. *The American Naturalist*, 134(1), 72-87.
- Joseph, L., Toon, A., Schirtzinger, E. E., & Wright, T. F. (2011). Molecular systematics of two enigmatic genera *Psittacella* and *Pezoporus* illuminate the ecological radiation of Australo-Papuan parrots (Aves: Psittaciformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 59(3), 675-684.
- Juniper, A. T., & Parr, M. (1998). *Parrots: A Guide to Parrots of the World*, (Yale University Press: New Haven, CT.).
- Maia, R., Eliason, C. M., Bitton, P. P., Doucet, S. M., & Shawkey, M. D. (2013). Pavo: an R package for the analysis, visualization and organization of spectral data. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(10), 906-913.
- Martella, M. B., & Bucher, E. H. (1990). Vocalizations of the monk parakeet. *Bird Behavior*, 8(2), 101-110.
- Martín, L. F., & Bucher, E. H. (1993). Natal dispersal and first breeding age in monk parakeets. *The Auk*, 930-933.
- Martínez, J. J., de Aranzamendi, M. C., & Bucher, E. H. (2018). Quantitative genetics in the monk parakeet (*Myiopsitta monachus*) from central Argentina: Estimation of heritability and maternal effects on external morphological traits. *PLoS one*, 13(8), e0201823.
- Martínez, J. J., de Aranzamendi, M. C., Masello, J. F., & Bucher, E. H. (2013). Genetic evidence of extra-pair paternity and intraspecific brood parasitism in the monk parakeet. *Frontiers in zoology*, 10(1), 68.

- Masello, J. F., & Quillfeldt, P. (2003). Body size, body condition and ornamental feathers of Burrowing Parrots: variation between years and sexes, assortative mating and influences on breeding success. *Emu-Austral Ornithology*, 103(2), 149-161.
- Masello, J. F., Lubjuhn, T., & Quillfeldt, P. (2009). Hidden dichromatism in Burrowing Parrots *Cyanoliseus patagonus* as revealed by spectrometric colour analysis. *Hornero*, 24(1), 47-55.
- McGraw, K. J. (2006). Mechanics of uncommon colors: pterins, porphyrins, and psittacofulvins. *Bird coloration*, 1, 354-398.
- McGraw, K. J., & Nogare, M. C. (2005). Distribution of unique red feather pigments in parrots. *Biology Letters*, 1(1), 38-43.
- Meyer de Schauensee, R. (1971). A guide to the birds of South America. Edinburgh.
- Møller, A. P. (1986). Mating systems among European passerines: a review. *Ibis*, 128(2), 234-250.
- Navarro, J., Martín, L., & Bucher, E. (1992). El uso de la muda de remiges para determinar clases de edad en la cotorra (*Myiopsitta monachus*). *El Hornero*, 13, 261-2.
- Nemésio, A. (2001). Colour production and evolution in parrots. *International Journal of Ornithology*, 4, 75-102.
- Nesper, A. A., Lukazewicz, M. J., Dooling, R. J., & Ball, G. F. (1996). Testosterone induction of male-like vocalizations in female budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *Hormones and Behavior*, 30(2), 162-169.
- Oakes, E. J. (1992). Lekking and the evolution of sexual dimorphism in birds: comparative approaches. *The American Naturalist*, 140(4), 665-684.
- Prum, R. O. (2006). Anatomy, physics, and evolution of structural colors. In 'Bird Coloration. Vol. 1. Mechanisms and Measurements'. (Eds G. E. Hill and K. J. McGraw.) 295–353.
- Prum, R. O., Torres, R., Williamson, S., & Dyck, J. (1999). Two-dimensional Fourier analysis of the spongy medullary keratin of structurally coloured feather barbs. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1414), 13-22.
- Santos, S. I. O., Elward, B., & Lumeij, J. T. (2006). Sexual dichromatism in the Blue-fronted Amazon Parrot (*Amazona aestiva*) revealed by multiple-angle spectrometry. *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 20(1), 8-14.

- Schweizer, M., Seehausen, O., & Hertwig, S. T. (2011). Macroevolutionary patterns in the diversification of parrots: effects of climate change, geological events and key innovations. *Journal of Biogeography*, 38(11), 2176-2194.
- Schweizer, M., Seehausen, O., Güntert, M., & Hertwig, S. T. (2010). The evolutionary diversification of parrots supports a taxon pulse model with multiple trans-oceanic dispersal events and local radiations. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 54(3), 984-994.
- Stradi, R., Pini, E., & Celentano, G. (2001). The chemical structure of the pigments in *Ara macao* plumage. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 130(1), 57-63.
- Taylor, M. A., & Warner, C. (1986). 'Genetics for Budgerigar Breeders.' 2nd edn. (The Budgerigar Society: Northampton, UK.)
- Tokita, M., Kiyoshi, T., & Armstrong, K. N. (2007). Evolution of craniofacial novelty in parrots through developmental modularity and heterochrony. *Evolution & development*, 9(6), 590-601.
- Trail, P. W. (1990). Why should lek-breeders be monomorphic?. *Evolution*, 44(7), 1837-1852.
- Wallace, A. R. (1889). Darwinism, an exponent of the theory of natural selection, with some of its applications. Macmillan & Company.
- Wright, T. F., Schirtzinger, E. E., Matsumoto, T., Eberhard, J. R., Graves, G. R., Sanchez, J. J., ... & Fleischer, R. C. (2008). A multilocus molecular phylogeny of the parrots (Psittaciformes): support for a Gondwanan origin during the Cretaceous. *Molecular biology and evolution*, 25(10), 2141-2156.