

**DETERMINACIÓN DEL SEXO EN DOS ESPECIES DE AVES DE PASTIZAL INVERNADO EN EL NORTE DE MÉXICO****SEX DETERMINATION IN TWO SPECIES OF WINTERING GRASSLAND BIRDS IN THE NORTH FROM MEXICO**

Daniel Sierra Franco<sup>1</sup>, Martin Emilio Pereda Solís <sup>1\*</sup>, y José Hugo Martínez Guerrero<sup>1</sup>, Erin Strasser H.<sup>2</sup>, Fernando Flores Morales<sup>1</sup> y Manuel Armando Salazar Borunda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Carretera Durango-Mezquital km 11.5, CP 34000, Durango, Dgo., México.

<sup>2</sup> Bird Conservancy of the Rockies, Fort Collins, CO. U.S.A.

\*Autor para Correspondencia: [mepereda@ujed.mx](mailto:mepereda@ujed.mx)

RECIBIDO: 2/Marzo/2022

**RESUMEN**

ACEPTADO: 24/Mayo/2022

**PALABRAS CLAVE:**

*Centronyx bairdii*,  
*ammodramus savannarum*,  
medidas morfométricas,  
sexado.

**KEYWORDS:**

*Centronyx bairdii*,  
*ammodramus savannarum*,  
body morphometrics,  
sex determination

La mayoría de los gorriones de pastizal tienen plumajes monomórficos, por lo que es difícil determinar su sexo, especialmente durante el período invernal. Tal es el caso del gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) y el gorrión chapulín (*Ammodramus savannarum*), dos especies de aves que se encuentran catalogadas como vulnerables y en peligro de extinción por la lista roja UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). En este estudio presentamos un método para determinar su sexo con un análisis de función discriminante utilizando las medidas corporales colectadas en campo las cuales se compararon con los resultados de sexado molecular. Este análisis se realizó utilizando medidas corporales de 307 gorriones de aves de pastizal (111 *C. bairdii* y 196 *A. savannarum*) capturados en dos áreas de invernada en Cuchillas de la Zarca, Durango y Janos Chihuahua en dos temporadas (2013-2014 y 2014-2015). Nuestra función discriminante clasificó correctamente el sexo del 81,1% de los gorriones de Baird usando el peso, la longitud del culmen y la cuerda del ala, mientras que para los gorriones chapulines clasificó correctamente el 70,9% usando el peso, la cuerda del ala y la longitud de la cola. El uso de medidas corporales de las aves y el análisis de funciones discriminantes pueden constituir un método rápido, económico y eficiente de sexado que se puede aplicar en estudios de campo en especies de aves monomórficas.

**ABSTRACT**

Most grassland sparrows have monomorphic plumages, making it difficult to determine their sex, especially during the wintering time. Such is the case of the Baird's sparrow (*Centronyx bairdii*) and the grasshopper sparrow (*Ammodramus savannarum*), two species of birds that are classified as vulnerable and in danger of extinction by the IUCN red list (International Union for Conservation of Nature). In this study we present a method to determine their sex with a discriminant function analysis using body measurements collected in the field which were compared with the results of molecular sexing. This analysis was performed using body measurements of 307 grassland bird sparrows (111 *C. bairdii* and 196 *A. savannarum*) captured in two wintering areas in Cuchillas de la Zarca, Durango and Janos Chihuahua in two seasons (2013-2014 and 2014-2015). Our discriminant function correctly classified the sex of 81,1% of Baird's sparrows using body weight, culmen length, and wing chord, while for grasshopper sparrows it correctly classified 70,9% using body weight, wing chord and tail length. The use of body measurements of birds and the analysis of discriminant functions can constitute a fast, cheap and efficient method of sexing that can be applied in field studies in monomorphic bird species.

Determinar el sexo individual de las aves de manera precisa y sencilla es valioso para proporcionar un contexto importante para los estudios de ecología poblacional, biología evolutiva, conservación, genética (Bennett y Owens, 2002), dinámica de las poblaciones (Newton 1998), el comportamiento, la migración y la genética de la conservación, (Griffith y Tiwari 1995, Sutherland et al. 2004), y para el manejo activo de especies y poblaciones (Sarrazin y Barbault 1996, Bird y Bildstein 2007).

La determinación del sexo en especies monomórficas suele ser problemática, para lo cual se han desarrollado técnicas como la disección anatómica (Miller y Wagner, 1955) que requiere sacrificar individuos, sin embargo, esto no suele ser posible en investigaciones ecológicas. En época reproductiva las aves también se pueden sexar con la presencia de una protuberancia cloacal, análisis de vocalizaciones (Bourgeois et al., 2007) o comportamiento de las aves (Flux e Innes, 2001); sin embargo, estos métodos no son confiables durante la temporada no reproductiva. Más recientemente, se han desarrollado técnicas moleculares para identificar sexos (Dubiec y Zagalska-Neubauer, 2006). Las técnicas moleculares son muy eficaces para determinar el sexo de las aves; sin embargo, requieren equipo de laboratorio, capacitación avanzada, permisos para la recolección de muestras de sangre o tejidos y pueden ser más costosas que las técnicas de campo (Dechaume-Moncharmont et al., 2011).

El análisis de función discriminante (AFD) se ha utilizado ampliamente como una herramienta para determinar el sexo de las aves que no muestran dimorfismo sexual en el plumaje, pero que sí muestran en el tamaño (Brennan et al., 1991). Se toman medidas morfométricas externas de aves de sexo conocido para desarrollar y probar funciones discriminantes utilizando pieles de museos y colecciones, animales recién muertos y animales vivos, tanto en cautiverio como salvajes (Bortolotti 1984, Counsilman et al., 1994, Donohue y Dufty 2006). También se han publicado estudios metodológicos que evalúan el poder y las limitaciones de estas técnicas discriminantes (Williams 1983, Brennan et al., 1991). Dechaume-Moncharmont y colaboradores (2011) describen análisis utilizados para identificar sexos utilizando, incluidos modelos lineales o métodos multivariados, como el análisis de componentes principales y el análisis de función discriminante. Ronald A. Fisher formuló el análisis discriminante lineal en 1936 (el uso de medidas múltiples en problemas taxonómicos), un análisis estadístico para predecir una variable dependiente categórica (llamada variable de agrupación) por una o más variables independientes continuas o binarias (llamadas variables predictoras). Las funciones se generan a partir de una muestra donde se conoce a que categoría pertenece. Posteriormente estas funciones se pueden aplicar a otros datos donde la categoría de pertenencia de las variables es desconocida. El AFD se ha empleado para

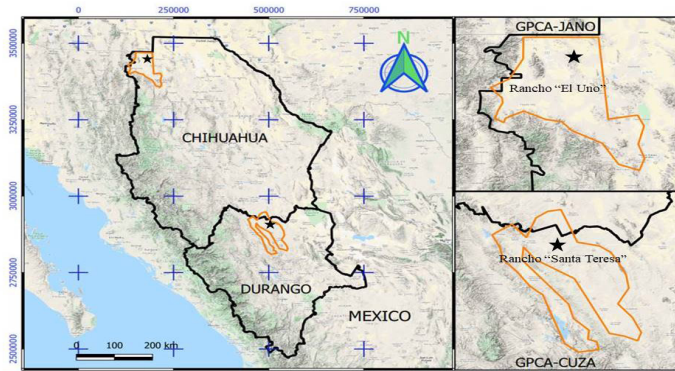
sexar aves en una serie de estudios. Por ejemplo, un AFD clasificó correctamente el 89,4% de los machos y el 93,9% de las hembras de aguililla de Swainson (*Buteo swainsoni*) utilizando únicamente la longitud del antebrazo como variable predictora (Sarasola y Negro, 2004). De la Hera y colaboradores (2007) presentaron un estudio de caso para validar la idoneidad del AFD basado en las diferencias morfológicas en la Curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*) migratoria y sedentaria que invernan en el sur de Iberia. Martin y colaboradores (2000) usaron AFD para identificar el posible sexo del Avutarda común (*Otis tarda*) a una edad de solo pocas semanas. Estudios similares que utilizaron la función discriminante para la predicción del sexo se encuentra el utilizado en el Merguló atlántico (*Alle alle*), donde utilizaron la longitud y el ancho del pico como variables predictivas con un 80% de efectividad en las aves muestreadas (Taylor, 1994). Así mismo, Jakubas y Wojczulanis (2007) usaron la longitud de la cabeza y el ancho del pico en la misma especie y encontraron que el 72% de las aves estaban clasificadas correctamente. Los gorriones de Baird (*Centronyx bairdii*) y chapulín (*Ammodramus savannarum*) son aves migratorias que se reproducen en verano en la parte norte de EUA (Vickery, 1996; Pool et al., 2014; Ruth 2015) y en época invernal migran al sur de EUA y norte de México, principalmente a la región del Desierto Chihuahuense (CCA, 2013). Las poblaciones de ambas especies han disminuido fuertemente en los últimos 42 años (Rosenberg et al., 2019); el gorrión de Baird tiene una tasa de disminución anual del 2,1 % y el gorrión chapulín del 2,5 % desde 1966 (Sauer et al., 2017). La pérdida y degradación del hábitat (Askins et al., 2007) que ocurre en los sitios de reproducción (Vickery y Herkert 2001) e invernales (NACBI, 2016), son las causas principales de la disminución de las poblaciones.

Los gorriones de Baird y chapulín no presentan polimorfismo sexual (Pyle, 1997). Además, durante la temporada no reproductiva que es cuando migran estas especies no cantan. Estudios anteriores han demostrado que los gorriones chapulín y de Baird exhiben diferencias significativas en el peso, la cuerda del ala y la longitud de la cola entre sexos (Sierra-Franco et al., 2015); sin embargo, aún no existe un método no molecular y accesible para determinar de manera confiable el sexo de los individuos. Por lo tanto, nuestro objetivo en este estudio fue desarrollar un AFD como herramienta para determinar el sexo individual de los gorriones de Baird y chapulín en sus áreas de invernada.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Área de estudio.-** Este estudio se llevó a cabo en dos áreas pertenecientes al Desierto de Chihuahuense (Figura 1) designadas como Áreas Prioritarias para la Conservación de Pastizales (GPCA por sus siglas en inglés; Pool and Panjabi, 2011): Rancho "Santa Teresa" ubicado en el GPCA Cuchillas de la Zarca (CUZA) al

noroeste de Durango y el Rancho "El Uno" dentro del GPCA Janos (JANO) en el norte de Chihuahua, México.



**Figura 1.** Localización de las Áreas Prioritarias para la Conservación de Pastizales (GPCA) Cuchillas de la Zarca, Durango y Janos, Chihuahua, México.

**Captura de las aves.-** La captura de las aves (permiso de colecta SEMARNAT SPGA/DGVS/13360/14) se realizó con cuatro redes de niebla en línea de polyester negro modelo KTX de Avian Research Supplies, AFO, de 36 mm de malla, 2.6 m de alto por 12 m de largo y cuatro bolsas, usando la técnica de redes al ras con un equipo de campo de 10 personas para capturar las aves (Panjabi y Beyer, 2010). Está se llevó a cabo durante dos periodos invernales: 1) diciembre-febrero 2013-2014 y 2) diciembre-febrero 2014-2015.

Después de la captura, una sola persona capacitada pesó cada una de las aves (g) con una balanza digital (OHAUS® modelo CS 2000, 2000 g de capacidad y 0,1 g de precisión). Posteriormente se midió la cuerda alar y la longitud de la cola (mm) utilizando una regla metálica de 150 mm y precisión de 0,5 mm (WING15ECO de AVINET®) y para las medidas del pico (longitud del culmen, ancho y profundidad del pico) se utilizó un calibrador vernier con precisión de 0,01 mm (modelo SPI 150 mm de AVINET®). Repetimos todas las medidas tres veces, siguiendo el protocolo establecido por Gustafson et al. (1997) y posteriormente liberamos todas las aves en su lugar de captura después del procesamiento.

**Determinación del sexo de las aves por técnicas moleculares.-** Para determinar el sexo de cada individuo capturado utilizamos técnicas moleculares. Colectamos la tercera pluma rectriz derecha de la cola de cada ave (Macías-Duarte et al., 2017) y se guardó en un sobre de papel etiquetado a temperatura ambiente. Ya en el laboratorio extrajimos el ADN utilizando el "DNaeasyTissue Kit" siguiendo el protocolo comercial (Qiagen, Valencia, CA, EE. UU.). Para el sexado molecular usamos los primers 2550F/2718R (Fridolfsson y Ellegren, 1999).

**Determinación del sexo de las aves por análisis de función discriminante.-** Agrupamos los datos de

ambos sitios de estudio para maximizar el tamaño de la muestra y analizamos las especies por separado. Las mediciones morfométricas fueron las variables independientes continuas (normalmente distribuidas; Shapiro Wilk Test) ala (X1), cola (X2), culmen (X3), ancho del pico (X4), profundidad del pico (X5) y peso (X6) utilizadas para predecir la variable dependiente, sexo. Todos los análisis los realizamos en SPSS Versión 14,0 para Windows (SPSS, Inc., Chicago).

La puntuación de la función discriminante para la función  $i$  fue:

$$D_i = d_{i1}X_1 + d_{i2}X_2 + \dots + d_{in}X_n$$

Donde  $D_i$  es la puntuación pronosticada (puntuación discriminante) y  $X$  es la puntuación de cada predictor y  $d_i$  es el coeficiente de la función discriminante. La puntuación de la función discriminante para un caso puede generarse con puntuaciones brutas y puntuaciones de la función discriminante no estandarizadas. Los coeficientes de la función discriminante se eligen, por definición, para maximizar las diferencias entre grupos. La media de todos los coeficientes de la función discriminante es cero, con una DE igual a uno.

Evaluamos la eficiencia de AFD utilizando el método de validación cruzada de Jackknife (Manly 1986). También usamos el método de clasificación de grupos y aplicamos la estadística Kappa de Cohen para corregir la desigualdad del tamaño de la muestra entre machos y hembras. También determinamos el punto de corte para ajustar la probabilidad de clasificación errónea. Se necesita tal punto de corte como valor de referencia que clasifique a un individuo en un grupo u otro.

## RESULTADOS

**Individuos capturados y sexado molecular.-** Durante los inviernos 2013-2014 y 2014-2015 (diciembre-febrero) capturamos en las dos Áreas Prioritarias para la Conservación de Pastizales un total de 307 aves, de las cuales 164 pertenecieron a la región de pastizales de Cuchillas de la Zarca (Baird  $n=82$ ; Chapulín  $n=82$ ) y 143 en Janos (Baird  $n=29$ ; Chapulín  $n=114$ ). Para ambas regiones, se logró identificar a través de técnicas moleculares el sexo de todos los ejemplares capturados, para la especie *Centronyx bairdii* fueron 59 machos y 52 hembras ( $n=111$ ; Cuadro 1) y para *A. savannarum* 108 machos y 88 hembras ( $n=196$ ; Cuadro 2).

**Predicción del sexo de *C. bairdii* con análisis de función discriminante.-** Inicialmente ajustamos el modelo completo considerando todas las variables morfométricas (Cuadro 1)  $X_1, \dots, X_6$

$$D_i = d_{i1}X_1 + d_{i2}X_2 + \dots + d_{i6}X_6$$



**Cuadro 1.** Variables morfométricas del gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) durante dos temporadas invernales 2013-2014 y 2014-2015 en dos Áreas Prioritarias para la Conservación de Pastizales (CUZA-JANO) pertenecientes al Desierto Chihuahuense.

Variables	Hembras			Machos		
	N	Media	DE	N	Media	DE
Cuerda del ala ( $X_1$ ) <sup>a</sup>	52	67.2	1.90	59	70.1	2.14
Longitud de la cola ( $X_2$ ) <sup>a</sup>	52	48.2	1.94	59	50.0	2.09
Longitud del culmen ( $X_3$ ) <sup>a</sup>	52	9.3	0.90	59	9.5	0.91
Ancho pico ( $X_4$ ) <sup>a</sup>	52	5.5	0.42	59	5.6	0.42
Profundo pico ( $X_5$ ) <sup>a</sup>	52	5.5	0.38	59	5.7	0.34
Peso ( $X_6$ ) <sup>b</sup>	52	16.7	0.72	59	18.1	0.98

<sup>a</sup> mm, <sup>b</sup> g

Los coeficientes:  $d_{i_2}$ ,  $d_{i_4}$  y  $d_{i_5}$  se asociaron con las variables cola ( $p = 0,851$ ), profundidad del pico ( $p = 0,288$ ) y ancho del pico ( $p = 0,272$ ), respectivamente, pero no fueron predictores estadísticamente significativos del sexo, por lo que se eliminaron del modelo.

Así, el modelo reducido para los gorriónes de Baird fue:

$$D_i = d_{i1}X_1 + d_{i3}X_3 + d_{i6}X_6$$

A medida que aumentaban los valores de los parámetros cuerda del ala ( $d_{i1} = 0,234$ ), longitud del culmen ( $d_{i3} = 0,354$ ) y peso ( $d_{i6} = 0,790$ ), aumentaba la probabilidad de que un individuo fuera correctamente identificado como macho. Usamos un punto de corte de  $Di = 0,933$  donde  $Di > 0,933$  indicaba que un individuo era macho, ya que este punto de corte maximiza la proporción de machos que tenían el sexo correcto (80,2%). Nuestra ecuación asume una probabilidad a priori de que el 47 % de los individuos fueran hembras y el 53 % fueran machos según el tamaño del grupo.

La función discriminante de *Centronyx bairdii* (FDCEB) para determinar el sexo fue:

$$FDCEB = -33.308 + 0.234 * \text{cuerda del ala} + 0.354 * \text{longitud del culmen} + 0.790 * \text{peso}$$

**Predicción del sexo de *A. savannarum* mediante análisis discriminante.**- De igual forma para el modelo para *A. savannarum* consideramos todas las variables (Cuadro 2)  $X_1, \dots, X_6$  y los coeficientes:  $d_{i3}$ ,  $d_{i4}$  y  $d_{i5}$  se asociaron con la variable longitud del culmen ( $p = 0,121$ ), ancho del pico ( $p = 0,443$ ) y la profundidad del pico ( $p = 0,331$ ), estas no fueron significativas y, por lo tanto, se eliminaron del modelo.

Así, el modelo reducido a ajustar fue:

$$D_i = d_{i1}X_1 + d_{i2}X_2 + d_{i6}X_6$$

**Cuadro 2.** Variables morfométricas del gorrión chapulín (*Ammodramus savannarum*) durante dos temporadas invernales 2013-2014 y 2014-2015 en dos Áreas Prioritarias para la Conservación de Pastizales (CUZA-JANO) pertenecientes al Desierto Chihuahuense.

Variables	Hembras			Machos		
	N	Media	DE	N	Media	DE
Cuerda del ala ( $X_1$ ) <sup>a</sup>	88	61.2	2.09	108	62.7	1.7
Longitud de la Cola ( $X_2$ ) <sup>a</sup>	88	44.4	2.10	108	46.0	2.15
Longitud del Culmen ( $X_3$ ) <sup>a</sup>	88	10.4	0.66	108	10.6	0.78
Ancho pico ( $X_4$ ) <sup>a</sup>	88	5.8	0.53	108	5.8	0.53
Profundo pico ( $X_5$ ) <sup>a</sup>	88	6.0	0.36	108	6.0	0.30
Peso ( $X_6$ ) <sup>b</sup>	88	16.6	0.85	108	17.2	0.93

<sup>a</sup> mm, <sup>b</sup> g

En este modelo, a medida que aumentaban los parámetros cuerda del ala ( $d_{i1} = 0,270$ ), longitud de la cola ( $d_{i2} = 0,239$ ) y peso ( $d_{i6} = 0,498$ ), aumentaba la probabilidad de que el individuo fuera macho. El criterio de elección del punto de corte (si  $Di > 0,241$ , el sexo es macho y hembra, en caso contrario). Esta ecuación asume una probabilidad a priori de que el 45% de los individuos sean hembras y el 55% sean machos calculada a partir del tamaño del grupo.

La función discriminante de *Ammodramus savannarum* (FDAS) para determinar el sexo fue:

$$FDAS = -36.308 + 0.270 * \text{cuerda del ala} + 0.239 * \text{longitud de la cola} + 0.498 * \text{peso}$$

De las medidas morfométricas de cada especie se generaron los análisis de funciones discriminantes

las cuales tienen valores predictivos aceptables y significativas (*FDCB* 81% y *FDAS* 70%;  $p \leq 0,05$ ) en la identificación del sexo de *Centronyx bairdii* y *Ammodramus savannarum*.

Cuadro 3. Parámetros de las funciones discriminantes (*FDCB* y *FDAS*) para la identificación del sexo de los gorriones de Baird y chapulín.

	Corre- lación canónica	Wilks's lambda	F	DE	P	Const- tante
<i>FDCB</i>	0.685	0.531	9.7	6.0	<0.001	D > -33.308
<i>FDAS</i>	0.474	0.776	4.8	6.0	<0.001	D > -36.308

## DISCUSIÓN

La determinación del sexo en aves silvestres resulta de mucha importancia en estudios de especies que se encuentran en peligro de extinción, amenazadas, biología evolutiva, de ecología, identificación forense, de conservación y genética de poblaciones (Matta et al., 2009). En especies donde no existe dimorfismo sexual, como las del presente estudio, es necesario contar con pruebas alternativas de sexado a los métodos donde se requiere sacrificar individuos (Liza et al., 2008) o métodos moleculares que requieren de capacitación, equipo y que pueden ser costosas (Dechaume-Moncharmont et al., 2011). En ese sentido, las medidas corporales como método no invasivo ha resultado ser una alternativa económica y fácil de aplicar en campo para determinar el sexo de especies como playeros (Hansen et al., 2009), paseriformes (Svensson, 1992) y rapaces (Bavoux et al., 2006), donde las medidas más utilizadas fueron la longitud del pico, la longitud de la cola y la longitud del cuerpo (Bortolotti, 1984; Garcelon et al., 1985; Edwards y Kockert, 1986).

En este estudio generamos análisis de función discriminante con diferentes medidas morfométricas de cada especie. La función discriminante para *Centronyx bairdii* (*FDCB*) que se utilizó para predecir el sexo de los gorriones de Baird incluyó las variables peso, longitud del culmen y la cuerda del ala, mientras que, la función discriminante para *Ammodramus savannarum* (*FDAS*) utilizó el peso, cuerda del ala y longitud de la cola. Ambas funciones tienen valores predictivos aceptables y significativos (*FDCB* 81 % y *FDAS* 70.9 %;  $p \leq 0.05$ ; Cuadro 3). Por lo anterior, esta metodología puede ser tomada como un buen método para sexar individuos y promover su uso en otras especies que puedan capturarse fácilmente.

La utilidad de la función discriminante utilizando variables morfométricas puede depender de la estabilidad de las características utilizadas, por lo que debe ser muy cuidadoso cuando se aplica a diferentes

grupos de aves (Sarasola y Negro, 2004). Por ejemplo, las variables morfométricas como la longitud del ala o las dimensiones del pico pueden cambiar con la edad del ave y las plumas pueden desgastarse con el uso.

## CONCLUSIONES

El análisis de función discriminante fue útil para generar funciones que permitieron predecir el sexo de los gorriones de Baird y chapulín con niveles de precisión del 81 y 70.9 %, respectivamente. Este método es una herramienta simple, no invasiva y económica para determinar el sexo de especies monomórficas en comparación con la determinación del sexo molecular. En futuros estudios sería útil incorporar variables morfométricas como el tarso y la longitud del cuerpo para encontrar una función más robusta en la determinación del sexo dentro de estas especies.

## LITERATURA CITADA

- Askins, R.A., Chavez-Ramirez, F. Dale, B.C., Haas, C.A., Herkert, J.R., Knopf, F.L. and Vickery, P.D. 2007. Conservation of grassland birds in North America Understanding ecological processes in different regions. Ornithological Monographs No. 64. 92 p.
- Bavoux, C., Burneleau, G., and Bretagnolle, V. 2006. Gender determination in the western marsh harrier (*Circus aeruginosus*) using morphometrics and discriminant analysis. Journal of Raptor Research. 40: 57-64.
- Bortolotti, G.R. 1984. Age and sex size variation in Golden Eagles. Journal of Field Ornithology. 55: 54-66.
- Bourgeois, S.R., Vazquez, M. and Brsky, K. 2007. Combination Therapy Reduces Self-injurious Behavior in a Chimpanzee (*Pan troglodytes troglodytes*): A Case Report. Journal of Applied Animal Welfare Science. 10: 123-140.
- Brennan, A.L., Buchanan, J.B., Schick, C.T. and Herman, S.G. 1991. Estimating sex ratios with discriminant function analysis: the influence of probability cutpoints and sample size. J. Field Ornithol. 62: 357-366.
- Commission for Environmental Cooperation (CEC). 2013. Where do grassland birds winter? Density, abundance and distribution of wintering grassland passerines in the Chihuahuan Desert. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canada.
- Cristol, D.A., Baker, M.B. and Carbone, C. 1999. Differential migration revisited: latitudinal segregation by age and sex class. Current Ornithology. 15: 33-88.
- Counsilman, J.J., Nee, K., Jalil, A.K. and Keng, W.L. 1994. Discriminant analysis of morphometric characters

- as a means of sexing mynas. *J. Field Ornithol.* 65:1-7.
- Dechaume-Moncharmont, F.X., Monceau, K. and Cezilly, F. 2011. Sexing birds using discriminant function analysis: a critical appraisal. *The Auk.* 128: 78-86.
- De la Hera, I., Pérez-Tris, J. and Tellería, J.L. 2007. Testing the validity of discriminant function analyses based on bird morphology: the case of migratory and sedentary blackcaps *Sylvia atricapilla* wintering in southern Iberia. *Ardeola.* 54: 81-91.
- Donohue, K.C. and Dufty, A.M. 2006. Sex determination of Red-tailed Hawks (*Buteo jamaicensis calurus*) using DNA analysis and morphometrics. *J. Field Ornithol.* 77:74-79.
- Dubiec, A. and Zagalska-Neubauer, M. 2006. Molecular techniques for sex identification in birds. *Biological Letters* 43: 3-12.
- Edwards, T.C. and Kochert, M.N. 1986. Use of body weight and length of footpad as predictors of sex in Golden Eagles. *Journal of Field Ornithology.* 57: 317-319.
- Fernandez-Juricic, E., Nevo del J., A. and Poston, R. 2009. Identification of individual and population-level variation in vocalizations of the endangered Southwestern. *The Auk.* 126: 89-99.
- Flux, I. and Innes, J. 2001. A field technique for gender determination in North Island kokako (*Callaeascinerea wilsoni*). *Notornis.* 48: 217-223.
- Fridolfson, A. and Ellegren, H. 1999. A simple and universal method for molecular sexing of nonratite birds. *Journal of Avian Biology.* 36: 116-121.
- Garcelon, D.K., Martell, M.S., Redig, P.T. and Buoan, L.C. 1985. Morphometric, karyotypic, and laparoscopic techniques for determining sex in Bald Eagles. *Journal of Wildlife Management.* 49: 595-599.
- Gustafson, M.E., Hildenbrand, J. and Metras, L. 1997. The North American bird banding manual (electronic version). Version 1.0. [Accessed 15 December 2018]. <http://www.pwrc.usgs.gov/BBL/MANUAL/index.cfm>
- Hansen, B.D., Minton, C.D.T., Jessop, R. and Collins, P. 2009. Biometrics, sexing criteria, age structure and moult of Sooty Oystercatchers in south-eastern and north-western Australia. *Emu.* 109: 25-33.
- Jakubas, D. and Wojczulanis, K. 2007. Predicting the sex of dovekeys by discriminant analysis. *Waterbirds.* 30: 92-97.
- Macias-Duarte, A., Panjabi, A., Pool, D., Youngberg, E. and Levandoski, G. 2011. Wintering Grassland Bird Density in Chihuahuan Desert Grassland Priority Conservation Areas, 2007-2011. Rocky Mountain Bird Observatory. Fort Collins, CO. USA.
- Macias-Duarte, A., Panjabi, A., Strasser, E., Levandoski, G., Ruvalcaba-Ortega, I., Doherty, P. and Ortega-Rosas, C. 2017. Winter survival of North American grassland birds is driven by weather and grassland condition in the Chihuahuan Desert. *J. Field Ornithol.* 88 (4):374-386.
- Matta, N.E., Ramírez, N., Zúñiga, B.C. 2009. Determinación de sexo en aves mediante herramientas moleculares. *Acta Biolo Colomb* 2009; 14: 25-38.
- Manly, B.F.J. 1986. *Multivariate Statistical Methods: A Primer.* Chapman and Hall, London.
- Martín, C.A., Alonso, J.C., Alonso, J.A., Morales, M.B. and Pitra C. 2000. An approach to sexing young Great Bustards *Otis tarda* using discriminant analysis and molecular techniques. *Bird Study.* 47: 147-153.
- Miller, W.J. and Wagner, F.H. 1955. Sexing mature Columbiformes by cloacal characteristics. *The Auk.* 72: 279-285.
- Mougeot, F. and Bretagnolle, V. 2000. Predation risk and moonlight avoidance in nocturnal seabirds. *Journal of Avian Biology.* 31: 376-386.
- Liza R. J., Maturrano, H. L., and Rosadio, R. 2008. Determinación del sexo por ADN en cinco especies de guacamayos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú,* 19(1), 31-36.
- Panjabi, A. and Beyer, L. 2010. Desert Grassland Bird Conservation: Is low winter survival driving population declines? Phase I. Rocky Mountain Bird Observatory. Fort Collins, CO. USA.
- Pool, D. and Panjabi, A. 2011. Assessment and revisions of North American grassland priority conservation areas. Background paper. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canada.
- Pool, B.D., Panjabi, A., Macias, D. A. and Soljhem, D. 2014. Rapid expansion of croplands in Chihuahua, Mexico threatens declining North American grassland bird species. *Biological Conservation.* 170: 274-281.
- Pyle, P. 1997. *Identification Guide to North American Birds Part 1.* Slate Creek Press. Bolinas, CA. USA.
- Rosenberg, K., Dokter, A., Blancher, P., Sauer, J., Smith, A., Smith, P., Staton, J., Panjabi, A., Helf, L., Parr, M., Marra, P. 2019. Decline of the North American avifauna. *Science,* 366 (6461), 120-124. Doi: 10.1126 / science.aaw1313.
- Ruth, J.M. 2015. Status assessment and conservation plan for the Grasshopper Sparrow (*Ammodramus*

*savannarum*). Version 1.0. U.S. Fish and Wildlife Service, Lakewood, CO.

Rzedowski, J. 1981. La vegetación de México. Limusa. México.

Sarasola, J.H. and Negro, J.J. 2004. Gender determination in the Swainson' hawk using molecular procedures and discriminant function analysis. Journal of Raptor Research. 38: 357-361.

Sauer, J.R., Niven, D.K., Hines, J.E., Ziolkowski, Jr D.J., Pardieck, K.L., Fallon, J.E. and Link, W. A. 2017. The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1966 - 2015. Version 2.07.2017 USGS Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, MD. USA.

Sierra-Franco, D., Martínez-Guerrero, J.H., Ruvalcaba, I. and Pereda-Solís, M.E. 2015. Morphometric characterization during the winter season of the grasshopper sparrow (*Ammodramus savannarum*) and Baird's sparrow (*Ammodramus bairdii*). Open Journal of Ecology. 5: 574-581.

Schwanz, L.E., Cordero, G.A., Charnov, E.L., Janzen, F.J., 2016. Sex-specific survival to maturity and the evolution of environmental sex determination. Evolution; DOI:10.1111/evo.12856. Epub 2016 Feb 5. SPSS Institute Inc. IBM SPSS statistics 19 algorithms. SPSS Institute. 2010.

Svensson, L. 1992. Identification guide to European passerines. 4<sup>th</sup> ed. British Trust for Ornithology. Stockholm.

Taylor, J.R.E. 1994. Changes in body mass and body reserves of breeding little auks (*Alle alle* L.) Polish Polar Research. 15: 147-168.

Williams, B.K. 1983. Some observations on the use of discriminant analysis in ecology. Ecol. 64: 1283-1291. Vickery, P. and Herkert, J. 2001. Recent advances in grassland bird research: Where do we go from here? The Auk 118: 11-15.

Zavalaga, C.B. and Paredes, R. 1997. Sex determination of adult Humboldt Penguins using morphometric characters. Journal of Field Ornithology. 68: 102-112.