

1  
2  
3  
4  
5

# Diferencias sexuales en especies de pingüinos de la Antártida: un análisis basado en características morfológicas

Juana Perez Rodríguez<sup>1</sup>, Simona Cruz García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ENES Unidad Morelia,

---

Corresponding author: Juana Perez Rodríguez, [jperez@enesmorelia.com](mailto:jperez@enesmorelia.com)

## Abstract

El dimorfismo sexual es una consecuencia evolutiva de la selección sexual y natural, manifestándose en diferencias morfológicas entre machos y hembras de una misma especie (Darwin, 1871). En este estudio, se evaluó si las características morfológicas pueden predecir el sexo de tres especies de pingüinos (*Pygoscelis*) en el Archipiélago Palmer, Antártida. Se analizaron datos de longitud y profundidad del pico, longitud de la aleta y masa corporal mediante modelos de regresión logística y bosque aleatorio (Hastie et al., 2009). La regresión logística tuvo un mejor rendimiento, con una exactitud de 0.857 y un área bajo la curva ROC de 0.938. La profundidad del pico fue el mejor predictor del sexo, con un aumento de 1 mm asociado con una probabilidad casi cuatro veces mayor de que el individuo sea macho (Williams & Croxall, 2005). Este estudio demuestra que las características del pico son indicadores confiables del sexo en pingüinos *Pygoscelis*, facilitando estudios ecológicos y de comportamiento en estas especies.

## 1 Introducción

El dimorfismo sexual, o las diferencias morfológicas entre machos y hembras de una misma especie, es una consecuencia evolutiva de la selección sexual y la selección natural (Darwin, 1871; Trivers, 1972). Estas diferencias pueden manifestarse en tamaño, coloración, comportamiento o características físicas específicas. Comprender las causas y consecuencias del dimorfismo sexual es importante para entender la ecología, el comportamiento reproductivo y la evolución de las especies (Andersson, 1994).

Sin embargo, sigue siendo incierto si es posible inferir el sexo de ciertas especies animales a partir de sus características morfológicas. Este estudio explora esta cuestión mediante el análisis de datos morfológicos de tres especies de pingüinos (*Pygoscelis*) recolectados en tres islas del Archipiélago Palmer, Antártida (Ainley, 2002). Este análisis busca determinar si las medidas corporales, como la longitud y profundidad del pico, la longitud de la aleta y la masa corporal, pueden predecir el sexo de los pingüinos.

## 2 Métodos

### 2.1 Recolección de muestras

El trabajo de campo fue realizado en el Archipiélago Palmer, al oeste de la Península Antártica, cerca de la Isla Anvers (64°46 S, 64°03 W), durante los veranos australes de 2007/08, 2008/09 y 2009/10 (Wilson et al., 2018). Las muestras fueron recolectadas en tres islas específicas (Figure 1):

- Biscoe Island (64°48 S, 63°46 W)
- Torgersen Island (64°46 S, 64°04 W)
- Dream Island (64°43 S, 64°13 W)

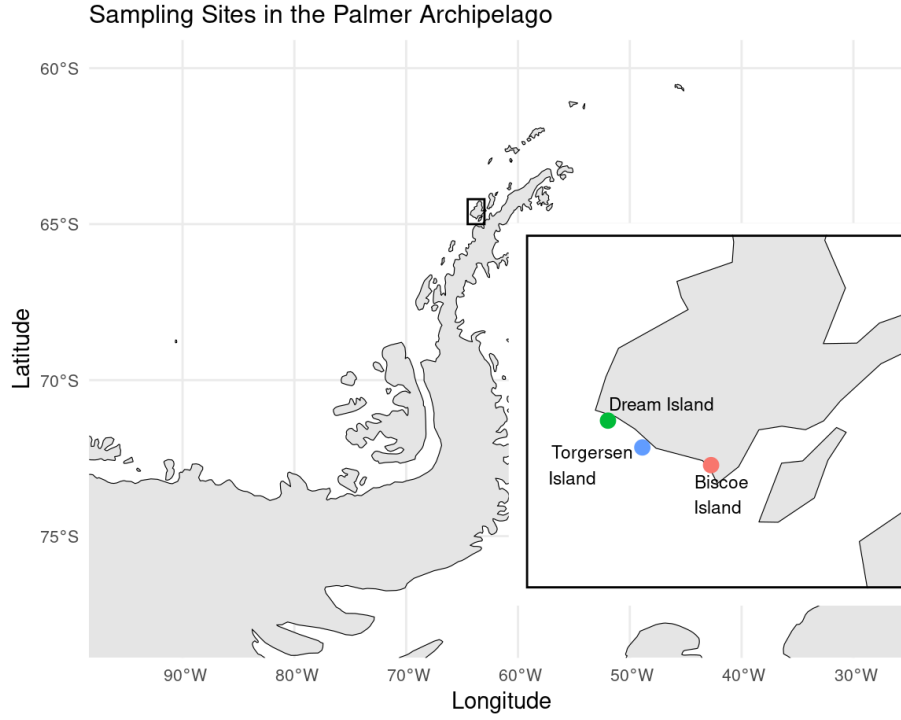


Figure 1

Source: [Data exploration](#)

Cada temporada, se recolectaron datos de 30 nidos de pingüinos Adelia, distribuidos equitativamente entre las tres islas (10 nidos por isla). Los datos de 30 nidos de pingüinos gentoo se recolectaron únicamente en Biscoe Island, mientras que los datos de 15 nidos de pingüinos barbijo fueron recolectados en Dream Island (Table 1).

Table 1: Summary of Penguin Counts by Species, Island, and Sex

Table 1: Summary of Penguin Counts by Species, Island, and Sex

Species	Island	Male	Female	Unkn.
P. adelia	Torgersen	23	24	5
P. adelia	Biscoe	22	22	
P. adelia	Dream	28	27	1
P. gentoo	Biscoe	61	58	5
P. chinstrap	Dream	34	34	

Source: [Data exploration](#)

Las aves fueron capturadas en la etapa de un huevo, y se extrajo una muestra de sangre (~1 ml) de la vena braquial utilizando una jeringa estéril de 3 ml con aguja heparinizada (Lynch & Schwaller, 2012) para ser sexadas posteriormente. Las muestras de sangre fueron almacenadas en microtubos de 1.5 ml y congeladas a -80°C

para su análisis molecular y de isotopos estables. Además, se registraron las siguientes medidas corporales:

- Longitud y profundidad del pico (mediante calibradores digitales  $\pm 0.1$  mm)
- Longitud de la aleta (mediante regla  $\pm 1$  mm)
- Masa corporal (mediante balanzas de Pesola de 5 kg  $\pm 25$  g o 10 kg  $\pm 50$  g)

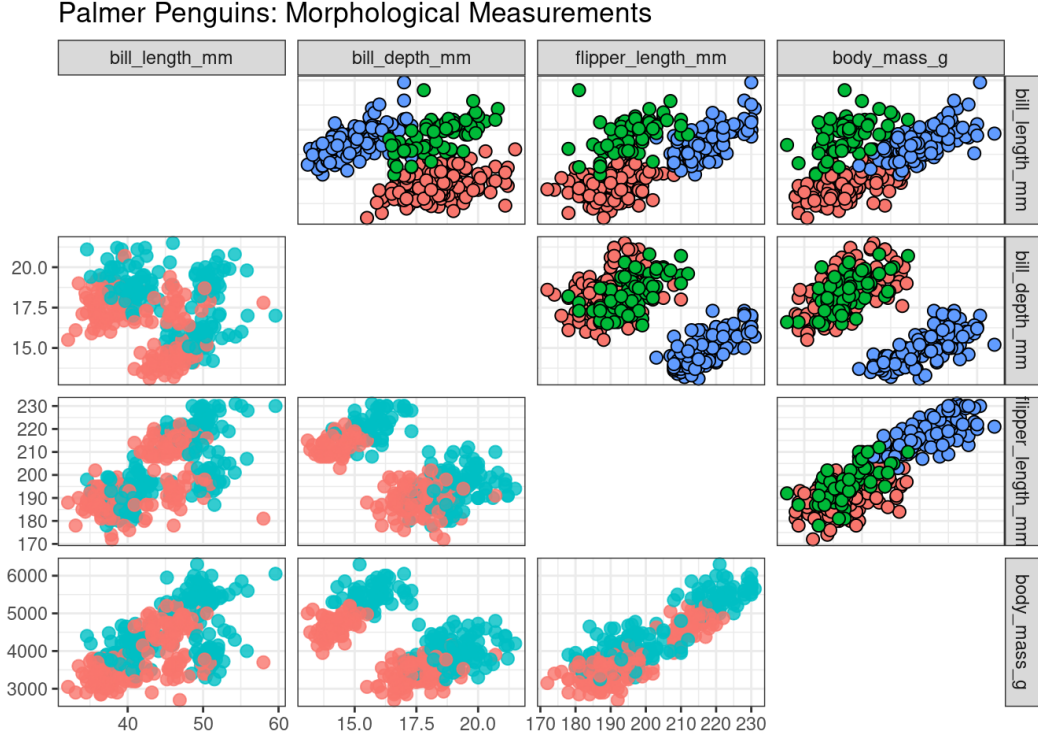


Figure 2: Visualización de la distribución de medidas por sexo (triángulo inferior de la matriz; azul = machos, rojo = hembras) y especie (triángulo superior de la matriz: *P. adeliae*: rojo, *P. chinstrap*: verde, *P. gentoo*: azul)

Source: [Data exploration](#)

## 2.2 Análisis estadístico

Se construyeron modelos de regresión logística y de bosque aleatorio para clasificar el sexo de los pingüinos basándose en las características morfológicas (Hastie et al., 2009). La estructura de los modelos fue la siguiente:

- **Regresión logística:**  
Modelo de clasificación utilizando la función `logistic_reg()` en R, con el motor `glm`.
- **Random Forest:**  
Modelo de clasificación utilizando `rand_forest()` en R, con el motor `ranger`.

Se realizaron remuestreos mediante `bootstrapping` para evaluar la estabilidad de los modelos y se midió la precisión mediante la métrica de exactitud (`accuracy`) y el área bajo la curva ROC (`roc_auc`) (Breiman, 2001).

### 3 Resultados

Los resultados muestran que el modelo de regresión logística tuvo un mejor rendimiento que el modelo de bosque aleatorio. La exactitud y el área bajo la curva ROC fueron las siguientes:

- **Exactitud:** 0.857
- **ROC AUC:** 0.9382086

Table 2: Logistic Regression Classification Model Coefficients

Table 2: Logistic Regression Classification Model Coefficients

Term	Estimate	Std.error	Statistic	P.value
(Intercept)	0.000	19.620	-5.309	0.000
speciesChinstrap	0.000	2.344	-3.794	0.000
speciesGentoo	0.000	3.753	-3.032	0.002
bill_length_mm	1.908	0.180	3.597	0.000
bill_depth_mm	8.363	0.478	4.448	0.000
flipper_length_mm	1.058	0.061	0.926	0.355
body_mass_g	1.008	0.002	4.591	0.000

Source: [Classification of Antarctic Penguins](#)

El análisis de razones de momios (**odds ratio**) indicó que la mayor asociación con el sexo fue para la profundidad del pico, seguida por la longitud del pico (Williams & Croxall, 2005). Un aumento de 1 mm en la profundidad del pico se asocia con una probabilidad casi cuatro veces mayor de que el individuo sea macho. Por otro lado, la longitud de la aleta no mostró evidencia significativa de diferenciación entre machos y hembras cuando se controlaron las otras variables (Table 2).

### 4 Discusión

La capacidad de inferir el sexo de los pingüinos a partir de datos morfológicos tiene importantes implicaciones ecológicas y evolutivas (Croxall, 1995). La diferenciación sexual basada en la morfología puede estar relacionada con la selección sexual o con la adaptación a diferentes roles ecológicos. La profundidad y longitud del pico pueden reflejar diferencias en la dieta o en el comportamiento reproductivo entre machos y hembras (Polito et al., 2016).

Además, la posibilidad de determinar el sexo mediante datos morfológicos facilita estudios sobre dinámica poblacional y comportamiento reproductivo, sin la necesidad de técnicas invasivas de determinación de sexo (Polito et al., 2016).

### 5 Conclusión

Este estudio demuestra que las características del pico son indicadores confiables del sexo en especies de pingüinos *Pygoscelis*. La regresión logística proporcionó una alta exactitud y poder predictivo. La capacidad de inferir el sexo a partir de datos morfológicos ofrece nuevas oportunidades para estudios ecológicos y de comportamiento en poblaciones de pingüinos en la Antártida (Trivelpiece et al., 2011).

### Referencias

- Ainley, D. G. (2002). *The adélie penguin: Bellwether of climate change*. New York: Columbia University Press.
- Andersson, M. (1994). *Sexual selection*. Princeton: Princeton University Press.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

- Croxall, J. P. (1995). Sexual size dimorphism and breeding biology in southern giant petrels, *macronectes giganteus*. *Oikos*, 73(1), 79–87. <https://doi.org/10.2307/3545728>
- Darwin, C. (1871). *The descent of man, and selection in relation to sex*. London: John Murray.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction* (2nd ed.). New York: Springer.
- Lynch, H. J., & Schwaller, M. R. (2012). Detection, differentiation, and abundance estimation of penguin species by high-resolution satellite imagery. *Polar Biology*, 35(6), 963–968. <https://doi.org/10.1007/s00300-011-1138-3>
- Polito, M. J., Hinke, J. T., Hart, T., Santos, M., Houghton, L. A., & Thorrold, S. R. (2016). Stable isotope analyses of feather amino acids identify penguin migration strategies at ocean basin scales. *Biology Letters*, 12(8), 20160024. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0024>
- Trivelpiece, W. Z., Hinke, J. T., Miller, A. K., Reiss, C. S., Trivelpiece, S. G., & Watters, G. M. (2011). Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in antarctica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(18), 7625–7628. <https://doi.org/10.1073/pnas.1016560108>
- Trivers, R. L. (1972). Parental investment and sexual selection. *Sexual Selection and the Descent of Man*, 136–179.
- Williams, T. D., & Croxall, J. P. (2005). Morphometric sex identification of pygoscelis penguins: Not as easy as it looks. *Marine Ecology Progress Series*, 296, 141–150. <https://doi.org/10.3354/meps296141>
- Wilson, K. J., Waugh, S. M., Taylor, R. H., & Southey, I. (2018). Long-term monitoring of adélie penguin population change at the palmer archipelago: Methods and data quality. *Antarctic Science*, 30(3), 151–163. <https://doi.org/10.1017/S0954102017000451>