

Ajuste de un modelo lineal generalizado sobre el rol de las variables climáticas y estacionales en la abundancia del Chimango (*Daptrius chimango*) en el aeropuerto de la ciudad de Neuquén

Fitting a generalized linear model on the role of climatic and seasonal variables in the abundance of the Chimango (Daptrius chimango) at Neuquén city airport

Juan Pablo Angelicchio^a, Adela Maria Bernardis^a y Natalia Rubio^b

RESUMEN

Un problema relevante que atraviesa la ciudad de Neuquén ocurre en el Aeropuerto Internacional Juan Domingo Perón. En este, se pueden observar un gran número de aves que comparten el sitio junto a aeronaves que aterrizan y despegan diariamente. La presencia de aves se debe a que el aeropuerto se inserta en un paisaje de alta heterogeneidad y transformación dinámica permanente. Considerando al Chimango (*Daptrius chimango*) como una especie nativa de importancia para el ecosistema de la región, pero que a la vez representa una problemática de seguridad aeroportuaria nos propusimos identificar las variables climáticas y temporales que determinan las abundancias de esta especie en el aeropuerto de la ciudad de Neuquén. Desde abril del 2019, por un año se llevaron a cabo relevamientos semanales en el aeropuerto mediante el método de conteo por puntos. En paralelo, se registraron las variables climáticas temperatura, humedad, nubosidad, presión a nivel del mar, dirección y velocidad del viento del mismo día denle el que se hizo el conteo de chimangos. Los resultados indicaron que la presencia de chimangos en el aeropuerto estudiado está relacionada negativamente con la humedad ambiente y con la velocidad del viento, y positivamente con las estaciones del año. Estos hallazgos fueron importantes para generar una herramienta de alerta temprana sobre la presencia de chimangos en el área para prevenir accidentes por colisión entre estas aves y las aeronaves.

PALABRAS CLAVE: variables ambientales; riesgo aviario; aeronaves

ABSTRACT

A relevant problem facing the city of Neuquén occurs at Juan Domingo Perón International Airport. There, a large number of birds can be observed sharing the site with aircraft that land and take off daily. The presence of birds is due to the fact that the airport is inserted in a landscape of high heterogeneity and permanent dynamic transformation. Considering the Chimango (*Daptrius chimango*) as a native species of importance for the ecosystem of the region, but which at the same time represents an airport security problem, we set out to identify the climatic and seasonal variables that determine the abundance of this species at the airport of the city of Neuquén. Since April 2019 and for one year, weekly surveys were carried out at the airport using the point counting method. In parallel, the climatic variables temperature, humidity, cloudiness, sea level pressure, wind direction and speed were recorded on the same day of the chimango count. Our results indicate that the presence of chimangos at the airport studied is negatively related to ambient humidity and wind speed, and positively related to the seasons of the year. These findings are important to generate an early warning tool on the presence of chimangos in the area to prevent collision accidents between these birds and aircraft.

KEY WORDS: environmental variables; avian risk; aircraft

^a Laboratorio de investigaciones ecológica de la Norpatagonia, Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud, Universidad Nacional del Comahue

^b Facultad de Economía y Administración, Universidad Nacional del Comahue

Introducción

El uso compartido del espacio aéreo por aeronaves y fauna silvestre, particularmente aves, constituye una de las principales fuentes de riesgo para la seguridad operacional de la aviación civil y militar a escala global. Las colisiones entre aves aeronaves generan daños materiales, interrupciones operativas, pérdidas económicas significativas y, en casos extremos, víctimas fatales (Cleary y Dolbeer, 2005; Dolbeer, 2011). En las últimas décadas, este riesgo se ha incrementado como consecuencia del aumento sostenido del tráfico aéreo, la expansión urbana y la transformación de los paisajes en torno a los aeropuertos, que frecuentemente generan condiciones atractivas para numerosas especies de aves (El-Aleem Saad y Desoky, 2014; ANAC, 2012).

A estos factores se suma el cambio climático, que ha producido un aumento sostenido de la temperatura media global y regional, acompañado por modificaciones en la circulación atmosférica, los regímenes de precipitaciones y los patrones de viento (IPCC, 2021). Por ejemplo, en el norte de la Patagonia argentina se ha documentado un incremento de la temperatura media del aire y una mayor variabilidad interanual en las condiciones meteorológicas durante las últimas décadas, con efectos potenciales sobre la distribución, abundancia y comportamiento de la avifauna (Barros *et al.*, 2015). Estos cambios climáticos pueden alterar la disponibilidad de recursos, la fenología reproductiva y los costos energéticos asociados al vuelo, influyendo en la presencia y actividad de las aves en ambientes antrópicos como los aeropuertos (Sodhi, 2002; Lane, 2018).

Los aeropuertos suelen concentrar recursos clave para las aves, tales como áreas abiertas para el forrajeo, disponibilidad de presas asociadas a pastizales o residuos, cuerpos de agua y hábitats de borde, lo que favorece su uso permanente o estacional (Quezada *et al.*, 2010; El-Aleem Saad y Desoky, 2014). En este contexto, las condiciones climáticas diarias y estacionales adquieren un rol central, ya que variables

como la humedad, la temperatura y el viento afectan directamente la actividad de vuelo, el gasto energético y los patrones de desplazamiento de las aves (Altshuler y Dudley, 2006; Lane, 2018).

Entre las especies que frecuentan aeropuertos en la Patagonia norte se destaca el chimango (*Daptrius chimango*), un ave rapaz y oportunista de amplia distribución en el Cono Sur, presente en una gran diversidad de ambientes, desde ecosistemas naturales abiertos hasta áreas rurales y urbanas. Se trata de una especie generalista en su dieta y comportamiento, con alta plasticidad ecológica, que utiliza corrientes térmicas para el planeo y presenta una elevada actividad aérea, especialmente durante las primeras horas del día y al atardecer (Solaro, 2008; Marateo *et al.*, 2012). Estas características, sumadas a su tendencia a formar bandadas y a desplazarse largas distancias en busca de alimento, la convierten en una de las especies de mayor relevancia en estudios de peligro aviario.

En el Aeropuerto Internacional Presidente Juan Domingo Perón (figura 1), ubicado en la ciudad de Neuquén, el chimango ha sido identificado como una de las especies más frecuentes, con rutas de vuelo que atraviesan la pista de aterrizaje, especialmente al amanecer y al atardecer (Datri *et al.*, 2019). Sin embargo, aún es limitado el conocimiento sobre cómo las variables climáticas y temporales influyen en su abundancia en este tipo de ambientes altamente antropizados. Comprender estas relaciones resulta fundamental para anticipar períodos de mayor riesgo de colisión y para diseñar estrategias de manejo preventivo del peligro aviario basadas en criterios ecológicos.

En este marco, el objetivo del presente trabajo fue *identificar* las variables climáticas y estacionales que determinan la abundancia del chimango en el Aeropuerto Internacional de la ciudad de Neuquén, aportando información que contribuya al desarrollo de herramientas de alerta temprana y a la implementación de medidas de gestión no letales orientadas a mejorar la seguridad operacional.

Figura 1. Ubicación del Aeropuerto Internacional Juan Domingo Perón en la ciudad de Neuquén (Argentina) (fuente: elaboración propia en base a Google Earth Pro 2018)



Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Aeropuerto Internacional Presidente Juan Domingo Perón, ubicado a aproximadamente 6 km del centro de la ciudad de Neuquén, provincia del Neuquén, Argentina ($38^{\circ}57'11''$ S; $68^{\circ}08'00''$ O, 293 msnm). El aeropuerto ocupa una superficie cercana a las 254 ha y presenta una pista de aproximadamente 2 km de longitud, rodeada por una matriz ambiental heterogénea que incluye áreas urbanas y periurbanas, chacras productivas, cuerpos de agua artificiales, canales de riego y el río Limay.

El área de estudio se inserta en la región biogeográfica del Monte y presenta un clima árido a semiárido, caracterizado por precipitaciones escasas y una marcada amplitud térmica anual. La temperatura media anual ronda los $14\text{--}15^{\circ}\text{C}$, con veranos cálidos en los que las temperaturas medias superan los 22°C y máximos que frecuentemente exceden

los 35°C , e inviernos fríos con temperaturas medias cercanas a los $6\text{--}8^{\circ}\text{C}$ y ocurrencia de heladas. La humedad relativa media es moderada a baja, con valores más elevados durante el invierno y más bajos en los meses estivales. Los vientos son un rasgo climático dominante en la región, con velocidades medias más altas durante la primavera y el verano, principalmente provenientes de los cuadrantes oeste y sudoeste.

Estas variaciones estacionales de temperatura, humedad y régimen de vientos condicionan tanto la disponibilidad de recursos como los costos energéticos asociados al vuelo de las aves, y resultan particularmente relevantes para analizar su influencia sobre la abundancia y actividad del chimango en el aeropuerto.

Conteo de chimangos y variables climáticas

La abundancia de chimangos se estimó mediante el método de conteo por puntos (Bibby *et al.*, 1998),

ampliamente utilizado para evaluar la abundancia relativa de aves. Los relevamientos fueron realizados por los mismos dos observadores a lo largo de todo el período de estudio, desde un punto fijo ubicado en la pista del aeropuerto. Se contabilizaron tanto los individuos posados en el área de la pista como aquellos que la sobrevolaban o transitaban por su zona de influencia directa.

Los conteos se efectuaron con una frecuencia semanal durante 46 semanas, entre el 28 de abril de 2019 y el 14 de marzo de 2020. Cada relevamiento tuvo una duración de una hora y se realizó durante la mañana, comenzando minutos antes del amanecer (momento de mayor actividad de la especie en el área). El horario de inicio varió estacionalmente, desde aproximadamente las 5:25 horas en verano hasta las 8:45 horas en otoño e invierno.

De forma simultánea, en cada conteo se registraron las variables climáticas correspondientes al momento del relevamiento, obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional: temperatura del aire (°C), humedad relativa (%), presión atmosférica a nivel del mar (Pascal), nubosidad (clasificada como despejado, parcialmente nublado o nublado), dirección del viento y velocidad del viento (km/h). Asimismo, se consideraron variables temporales como el mes y la estación del año, los periodos de otoño (21 de marzo–21 de junio), invierno (21 de junio–21 de septiembre), primavera (21 de septiembre–21 de diciembre) y verano (21 de diciembre–21 de marzo).

Análisis estadístico

La relación entre la abundancia de chimangos y las variables climáticas y temporales se evaluó mediante Modelos Lineales Generalizados (MLG), considerando como variable respuesta el número de individuos registrados en cada conteo. Inicialmente, se ajustó un modelo con distribución Poisson; sin embargo, la presencia de una marcada sobredispersión (relación entre la deviance residual y los grados de libertad > 1) motivó el uso de una distribución binomial negativa.

Por lo anterior, se partió de un modelo saturado que incluyó todas las variables explicativas registradas y se aplicó posteriormente un procedimiento de selección de variables *stepwise* para identificar el

modelo más parsimonioso. La selección se basó en el Criterio de Información de Akaike (AIC) y en la evaluación de la relación entre la deviance residual y los grados de libertad (Tabla 1). Todos los análisis estadísticos se realizaron en el entorno R (R Core Team 2021).

Tabla 1. Modelos estadísticos evaluados

Modelos	AIC	DResidual/GL
Binomial negativo	496,88	1,2
Binomial negativo con interacciones	456,42	5,3
Poisson	589,46	16,16

Fuente: autores

Resultados

El promedio del total de chimangos contabilizado fue de 178 individuos por hora (desvío estándar, con un máximo de 532 chimangos y un mínimo de 31. En enero de 2019, se registró un conteo extraordinario de 532 ejemplares y se observó que los meses estivales (diciembre, enero y febrero) registraron una mayor cantidad de chimangos con respecto a los otros meses del año (Fig. 2). En consonancia con esto, el verano resultó ser la época del año de mayor abundancia de chimangos en el aeropuerto (Fig. 2).

Se determinó que el mejor modelo estaba compuesto por las variables predictoras humedad, velocidad del viento y estación del año (tabla N° 2). Los resultados se obtuvieron luego de aplicar la selección de variables *stepwise*.

De acuerdo con lo anterior, el modelo que mejor ajusta los datos sigue una distribución binomial negativa donde la variable de respuesta, esto es, el número de chimangos, se encuentra explicada por la humedad, la velocidad del viento y la estación del año:

$$\log(\mu) = 6,10 - 0,2 \text{ HR} - 0,03 \text{ VV} + 0,69 \text{ EO} + 0,31 \text{ EP} + 0,84 \text{ EV}$$

Siendo:

HR: humedad relativa

VV: velocidad del viento

EO: estación otoño

EP: estación primavera

EV: estación verano

Figura 2. Panel A - conteo promedio diario de chimangos en cada mes de relevamiento (desde abril 2019 hasta marzo 2020). Las líneas por encima de la barra indican el valor máximo de chimangos observados en cada mes. / Panel B - conteo promedio diario de chimangos por cada estación de relevamiento. Las líneas por encima de la barra indican el valor máximo de chimangos observados en cada estación

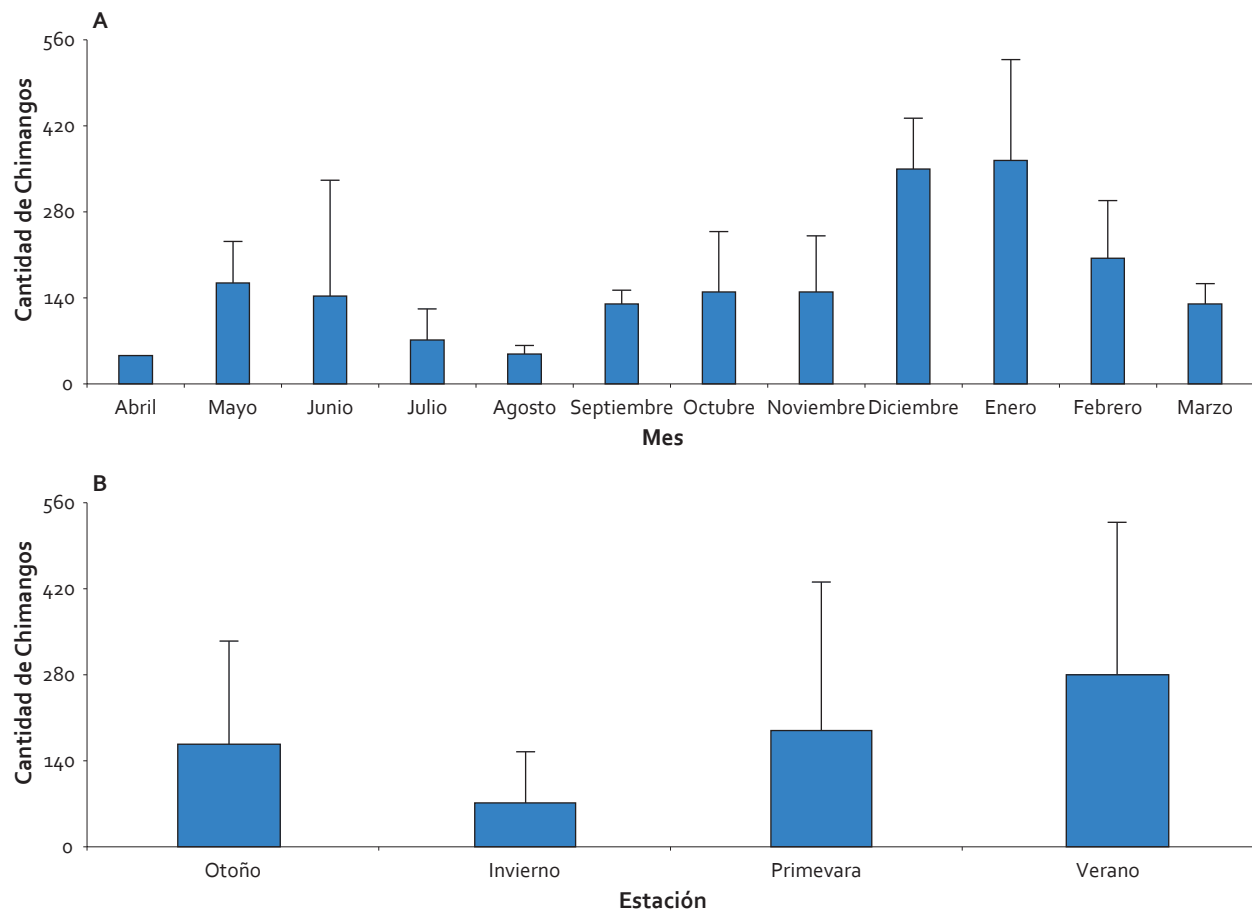


Tabla 2. Coeficientes y medidas asociadas de los parámetros del modelo

Coeficientes	Estimación	Error estándar	Valor z	p-valor
Intercepto	6,091	0,5951	10,235	<2x10 ⁻¹⁶
Humedad relativa	-0,019	0,0065	-2,995	0,0027
Velocidad del viento	-0,029	0,014	-2,073	0,038
Estación Otoño	0,6947	0,2293	3,029	0,0024
Estación Primavera	0,3093	0,267	1,158	0,2467
Estación Verano	0,844	0,235	3,591	0,00033

Fuente: autores

Discusión y conclusiones

Es común que las concentraciones de aves en las inmediaciones de las pistas de aterrizaje estén restringidas a momentos específicos del año, tales como la estación reproductiva o eventos de migración (Marateo *et al.*, 2012). En el presente trabajo se evidenció que durante el verano se dan los avistajes

más numerosos de chimangos en el aeropuerto de Neuquén, registrándose el pico de avistamiento en el mes de enero de 2019 con más de quinientos de individuos en un solo día.

Cabe resaltar que estas cifras elevadas coinciden con la época reproductiva de la especie, que en áreas peri-urbanas se extiende desde los últimos días de

septiembre hasta la primera quincena de enero (Sollaro, 2008). De esta manera, el paso de las bandadas, sumado al horario de comienzo de despegues y aterrizajes en la época estival (6:00 a.m.), convierten al verano y la primavera en las estaciones de mayor peligro aviar para ese aeropuerto.

En cuanto al horario, se ha demostrado que el despegue es la fase de vuelo más crítica en lo que concierne a accidentes ligados a choques con aves (Ministerie *van Verkeer en Waterstaat*, 1999). También se ha encontrado estacionalidad en el cálculo de riesgo de choques, coincidentes con las migraciones (otoño) y los nacimientos (primavera) (Hu *et al.*, 2020); mientras que en verano los mayores valores de riesgo se concentraron en los horarios de la mañana (Soldatini *et al.*, 2010).

De acuerdo con el análisis de datos realizado, la cantidad de chimangos observados se asocia fundamentalmente con la humedad del ambiente, la velocidad del viento y las estaciones del año. La humedad, por ejemplo, tuvo una relación inversa con la abundancia de chimangos. Esto significa que, a mayor humedad en el ambiente, menor fue la cantidad de chimangos que se observaron en el aeropuerto, posiblemente para evitar la pérdida de energía que se da bajo estas condiciones climáticas debido a los cambios que genera sobre la densidad y viscosidad del aire (Altshuler y Dudley, 2006). No obstante, este resultado es contrario a lo reportado por Sodhi (2002), quien menciona una correlación positiva entre la abundancia de chimangos y la humedad generada por las lluvias. Por otra parte, la relación entre el número de chimangos y la velocidad del viento fue negativa. Es decir, cuanto mayor fue la velocidad del viento, menor fue la abundancia de *M. chimango* en el aeropuerto, lo cual se ajusta a los hallazgos de Lane (2018), cuya explicación se asocia a disminuir el gasto de energía en vuelo.

Ahora bien, de acuerdo con Zhao *et al.* (2019) las especies con mayor movimiento en los aeropuertos tienen mayor frecuencia de colisión con aeronaves. Está mencionado, es importante puesto que, si bien en este trabajo sólo pudimos identificar las condiciones climáticas y de estacionalidad bajo las cuales se presenta la mayor cantidad de chimangos en el

aeropuerto de la ciudad de Neuquén y que, por ende, implicaría mayor riesgo de colisión, es fundamental destacar que el manejo del peligro aviar necesita un trabajo integrado de control sobre los focos atractivos de fauna silvestre potencialmente peligrosa para la aeronavegación (Caro-Caro *et al.*, 2014). También es importante considerar, como menciona Sodhi (2002), que cada aeropuerto tiene sus propias amenazas aviaras que dependen de las especies que se encuentren.

Las medidas de control a largo plazo, entonces, deben incluir modificaciones en los hábitats para que sus alrededores sean menos propicios para las aves, evitando su presencia o, como en este caso, su paso por los aeropuertos. Estas medidas deben ser monitoreadas en el tiempo. Además, para mejorar la comprensión de las dinámicas que posibilitan choques de aves con aeronaves es importante integrar tanto los patrones de vuelo de las aeronaves como el comportamiento de vuelo de las aves, pues ello conducirá a medidas preventivas más efectivas (Walter *et al.*, 2012). Finalmente, este trabajo brinda una herramienta útil para mejorar las condiciones de seguridad del aeropuerto internacional de la ciudad de Neuquén.

Agradecimientos

A Cecilia Navarro, directora del Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de la Norpatagonia (LIEN, FACIAS, UNCo) por permitirnos realizar este trabajo en el marco del convenio de asistencia técnica a Aeropuertos del Neuquén. Al personal de Operaciones del Aeropuerto Internacional Juan Domingo Perón por la buena predisposición para aportar datos y por hacer posible los relevamientos en la pista.

Contribuciones de autoría:

Juan Angelicchio y Adela Bernardis realizaron el trabajo de campo; Juan Angelicchio realizó la escritura inicial en el marco de su tesis de Licenciatura en saneamiento y protección ambiental; Natalia Rubio contribuyó con los modelos estadísticos.

Bibliografía

- Agresti, A. (2015). Foundations of linear and generalized linear models. John Wiley & Sons.
- Altshuler, D. L., & Dudley, R. (2006). The physiology and biomechanics of avian flight at high altitude. *Integrative and Comparative Biology*, 46(1), 62–71.
- Administración Nacional de Aviación Civil. (2012). Reglamentación en control de peligro aviario y fauna (Anexo). http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/infraestructura_y_aerod/pelig_aviario/reglamentacion-control-de-peligro-aviario-y-fauna.pdf
- Arrondo, E., García-Alfonso, M., Blas, J., Cortés-Avizanda, A., de la Riva, M., DeVault, T. L., Fiedler, W., Flack, A., Jiménez, J., Lambertucci, S. A., Margalida, A., Oliva-Vidal, P., Phipps, L., Sánchez-Zapata, J. A., Wikelski, M., & Donazar, J. A. (2021). Use of avian GPS tracking to mitigate human fatalities from bird strikes caused by large soaring birds. *Journal of Applied Ecology*, 58, 1411–1420.
- Bibby, C., Jones, M., & Marsden, S. (1998). Expedition field techniques: Bird surveys. Royal Geographical Society–Institute of British Geographers.
- Caro-Caro, C. I., Torres-Mora, M. A., & Barajas-Barbosa, M. P. (2014). Ecosistemas estratégicos y disponibilidad de hábitat de la avifauna del pedemonte llanero (Colombia) como posible peligro aviar. *Luna Azul*, 25–39.
- Cleary, E. C., & Dolbeer, R. A. (2005). Manejo del riesgo por fauna silvestre en aeropuertos. Bird Strike Committee Proceedings, Other Bird Strike and Aviation Materials, 5. <http://digitalcommons.unl.edu/birdstrikeother/5>
- Coccon, F., Zucchetta, M., Bossi, G., Borrotti, M., Torricelli, P., & Franzoi, P. (2015). A land-use perspective for birdstrike risk assessment: The attraction risk index. *PLOS ONE*, 10(6), e0128363. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128363>
- Datri, L., Boyero, L., López, H., López, M., Robertazzi, M., Lecuona, J., Miranda, E., Gatica, A., Valle Robles, J., Faggi, A. M., & Blasetti, G. (2019). Los programas de investigación en ecología de paisajes: Todo lo que un planificador de aeropuertos tiene que tener en cuenta sobre humedales. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 9(1), 123–127.
- Dolbeer, R. A. (2011). Increasing trend of damaging bird strikes with aircraft outside the airport boundary: Implications for mitigation measures. *Human–Wildlife Interactions*, 5(2), 235–248.
- Durán-Márquez, H. E. (2021). Aproximación teórica a la definición del concepto de sitio atractivo de avifauna fuera del aeropuerto. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 55–66.
- El-Aleem Saad, A., & Desoky, S. (2014). A review of bird control methods at airports. *Global Journal of Science Frontier Research*, 14(2), 41–50.
- Garmendia-Zapata, M., Andrés, A. L., Muñoz-Izaguirre, P., & Martínez-Gadea, Á. (2012). Estudio sobre peligro aviario: Análisis del riesgo de impactos entre aves y aeronaves en el Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, Managua, Nicaragua. *La Calera*, 11(16), 33–42.
- Hu, Y., Xing, P., Yang, F., Feng, G., Yang, G., & Zhang, Z. (2020). A birdstrike risk assessment model and its application at Ordos Airport, China. *Scientific Reports*, 10, 19627. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76673-2>
- Kelly, T., & Allan, J. (2006). Ecological effects of aviation. En J. Davenport & J. L. Davenport (Eds.), *The ecology of transportation: Managing mobility for the environment* (pp. 1–24). Springer.
- Lane, J. V. (2018). Three-dimensional foraging behaviour of Northern gannets [Doctoral thesis, University of Leeds].
- Lovell, C. D., & Dolbeer, R. A. (1999). Validation of the United States Air Force avoidance model. *Wildlife Society Bulletin*, 27(1), 167–174.
- Marateo, G., Grilli, P. G., Soave, G. R., Ferretti, V., Bouzas, N. M., & Almagro, R. (2012). Aves y aeropuertos: Control no letal de chimangos (*Milvago chimango*). *Gestión y Ambiente*, 15(3), 89–98.
- Martínez Moreno, L. K. (2019). Planeación del suelo en torno al aeropuerto: Consideraciones para un ordenamiento territorial compatible [Doctoral thesis, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín].
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (1999). A method for predicting fatal bird strike rates at airports. *Directoraat-Generaal Rijksluchtvaartdienst, Programmadi-rectie Ontwikkeling Nationale Luchthaven*.
- Moreno-Opo, R., & Margalida, A. (2017). Large birds of prey, policies that alter food availability and air traffic: A risky mix for human safety. *Human–Wildlife Interactions*, 11(3), 339–350.
- Otalora Dueñas, L. M., & Zuluaga Gómez, J. A. (2010). El peligro aviario en las operaciones aéreas en Colombia [Ensayo de especialización, Universidad Militar Nueva Granada].
- Quezada, J. B., Fonseca, C. R., Zapata, M. G., Ocón, L. C., & Morán, W. L. (2010). Peligro aviario: Caracterización de la vegetación y determinación de las especies atractivas para la fauna silvestre en las áreas verdes del Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, Managua, Nicaragua. *La Calera*, 10(15), 53–61.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Román Rubio, P. D. (2019). Determinación de la función de la laguna San Lorenzo como factor de riesgo aviar para el Aeropuerto Internacional Juan Domingo Perón de la ciudad de Neuquén [Licenciatura thesis, Universidad Nacional del Comahue].

- Romero, C. A. (2019). Aproximación al estudio eco-etológico del chimango (*Milvago chimango chimango*).
- Sodhi, N. (2002). Competition in the air: Birds versus aircraft. *The Auk*, 119, 587–595.
- Solaro, C. (2008). Ecología y biología reproductiva del chimango (*Milvago chimango*) en ambientes periurbanos de la provincia de La Pampa [Undergraduate thesis, Universidad Nacional de La Pampa].
- Soldatini, C., Georgalas, V., Torricelli, P., & Albores-Barajas, Y. V. (2010). An ecological approach to birdstrike risk analysis. *European Journal of Wildlife Research*, 56, 623–632.
- Walter, W. D., Fischer, J. W., Humphrey, J. S., Daugherty, T. S., & Milleson, M. P. (2012). Using three-dimensional flight patterns at airfields to identify hotspots for avian–aircraft collisions. USDA National Wildlife Research Center – Staff Publications, 1251.
- Zhao, B., Wang, N., Fu, Q., Yan, H., & Wu, N. (2019). Searching a site for a civil airport based on bird ecological conservation: An expert-based selection (Dalian, China). *Global Ecology and Conservation*, 20, 1–12.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer.