

PATRONES DE ACTIVIDAD VOCAL DEL CHIMANGO DURANTE EL PERÍODO DE CRÍA DE LOS PICHONES

Luis Cueva^{1,2*} , Paula M. Orozco-Valor^{1,2}  & José H. Sarasola^{1,2} 

¹Centro para el Estudio y Conservación de las Aves Rapaces (CECARA), Avda. Luro 558, 6300 Santa Rosa, La Pampa, Argentina

²Instituto de las Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Calle Rivadavia 236, 6300 Santa Rosa, La Pampa, Argentina

*luisfer_cueva@hotmail.com

RESUMEN: Los patrones de actividad vocal de las aves están determinados por factores tanto bióticos como abióticos, lo que da lugar a variaciones estacionales que típicamente alcanzan su pico durante la temporada reproductiva. Durante este período, las vocalizaciones están impulsadas por la selección sexual y las interacciones sociales, tales como la defensa territorial y el aprovisionamiento parental. En este estudio evaluamos: (1) los umbrales de confianza óptimos para identificar las vocalizaciones de pichones y adultos de Chimango (*Daptrius chimango*) mediante BirdNET, a fin de asegurar detecciones de alta probabilidad; (2) los patrones diarios de actividad vocal de ambos grupos etarios durante el periodo de cría; y (3) si la actividad vocal varía a lo largo de las distintas etapas del desarrollo de los pichones. Instalamos Unidades de Grabación Autónoma en 16 nidos que contenían pichones de entre 1 y 30 días de edad. BirdNET identificó correctamente las vocalizaciones de pichones y adultos con una precisión del 76% y del 93%, respectivamente, lo que confirma su fiabilidad para la clasificación por grupo etario. Nuestros resultados revelaron un único pico diario de actividad vocal en los pichones, mientras que los adultos presentaron un patrón bimodal. Asimismo, los pichones más jóvenes mostraron un aumento de la actividad vocal a lo largo del día, mientras que los pichones de mayor edad mostraron la tendencia opuesta. Finalmente, la actividad vocal de los adultos alcanzó su pico durante las etapas intermedias y tardías del período de nidificación. Nuestros hallazgos demuestran que el monitoreo acústico puede seguir eficazmente los cambios del desarrollo y que los patrones vocales del Chimango dependen de la edad durante el periodo de cría.

PALABRAS CLAVE: bioacústica, monitoreo pasivo, ontogenia, rapaces

La comunicación acústica mediante la actividad vocal desempeña un papel clave en el comportamiento social y reproductivo de numerosas especies de aves. Sin embargo, la actividad vocal de las aves está influida por factores bióticos y abióticos, como las horas de luz solar, así como por factores intrínsecos, tales como la etapa de la temporada reproductiva y la condición hormonal (Catchpole & Slater 2003, Pérez-Granados & Schuchmann 2022). Por ejemplo, los patrones de actividad vocal de las aves varían significativamente a lo largo del día y entre estaciones, alcanzando típicamente su intensidad máxima durante la temporada reproductiva (Pérez-Granados 2025, Mei et al. 2026).

Las vocalizaciones cumplen múltiples funciones durante el ciclo reproductivo, incluyendo la atracción de pareja (Catchpole & Slater 2003, Liu & Kroodsma 2007), la defensa territorial (Liu & Kroodsma 2007), la comunicación entre padres y crías, la coordinación entre los miembros de la pareja, y las interacciones sociales (Leonard & Horn 2001, Liu & Kroodsma 2007, Pérez-Granados et al. 2025).

Si bien la variación en la actividad vocal de los adultos ha sido documentada en varias especies, particularmente durante los períodos reproductivos, se sabe poco acerca de cómo varía la actividad vocal una vez que los pichones eclosionan. A diferencia de los adultos, la

actividad durante las primeras etapas de la ontogenia está determinada principalmente por factores intrínsecos, como el nivel de hambre o la condición corporal (Kilner & Rufus 1997, Leonard & Horn 2001), más que por los factores exógenos que rigen los ciclos de los adultos. En consecuencia, la información cuantitativa que describe cómo varía la actividad vocal a lo largo del desarrollo de los pichones sigue siendo escasa.

Los pichones suelen presentar repertorios vocales breves, compuestos por llamados de petición de alimento y de alarma (Kilner & Rufus 1997, Marchenko et al. 2018). Por lo tanto, los llamados de petición de alimento son las vocalizaciones más frecuentemente emitidas durante las primeras etapas del desarrollo, dado que el comportamiento de solicitud de alimento de los pichones debe ser lo suficientemente intenso como para estimular el aprovisionamiento parental (Leonard & Horn 2001). Sin embargo, este comportamiento implica un compromiso a medida que los pichones crecen, ya que una actividad vocal intensa puede aumentar el riesgo de depredación (Ibañez-Álamo et al. 2012), mientras que la asistencia parental al nido tiende a disminuir con la edad de los pichones, dejándolos sin supervisión durante períodos más prolongados (Cadiou & Monnat 2010). A pesar de la importancia ecológica de este comportamiento vocal para el éxito de la temporada reproductiva, los datos cuantitativos sobre los patrones de actividad vocal de las aves a lo largo del desarrollo siguen siendo limitados.

Los patrones de actividad vocal han sido documentados en un número limitado de especies de rapaces, principalmente en rapaces nocturnas. Las vocalizaciones diurnas de los juveniles de Búho Real (*Bubo bubo*) se han utilizado con éxito para detectar nidos ocupados (Penteriani et al. 2000), mientras que los estudios sobre el Búho Barrado (*Strix varia*) y otras lechuzas tropicales han descrito la variación temporal de la actividad vocal y su asociación con las condiciones ambientales (Odom & Mennill 2010, Marin-Gómez et al. 2020). En cambio, los estudios que abordan los patrones de actividad vocal en rapaces diurnas siguen siendo escasos, con apenas algunos ejemplos como el del Águila Azor Muda (*Nisaetus cirrhatus*) durante la temporada reproductiva (Mah et al. 2023). Entre otros factores, esta disparidad podría deberse en gran medida a las dificultades logísticas que implica realizar grabaciones de audio a largo plazo en este grupo de aves, altamente móviles y de distribución dispersa. Para cubrir este vacío, el Monitoreo Acústico Pasivo (MAP) se ha convertido en una herramienta esencial, que complementa eficazmente los relevamientos de campo y permite realizar grabaciones continuas

y de largo plazo sin intervención humana (Darras et al. 2019). Este enfoque minimiza el sesgo del observador y reduce la perturbación del sitio (Darras et al. 2019, Mcloughlin et al. 2019, Pérez-Granados & Schuchmann 2022). Dado que el MAP, implementado mediante Unidades de Grabación Autónoma (ARUs, por sus siglas en inglés), es un método no invasivo, resulta particularmente adecuado para el estudio de los patrones de actividad vocal. Sin embargo, la gran cantidad de datos generados representa un desafío considerable de procesamiento. Para abordar esto, estudios recientes han adoptado cada vez más herramientas automatizadas de reconocimiento acústico basadas en aprendizaje automático, como BirdNET (Kahl et al. 2021). BirdNET es una red neuronal artificial profunda entrenada con vocalizaciones de numerosas especies; hasta la fecha, el algoritmo puede detectar más de 6500 especies (Pérez-Granados 2025). Varios estudios han evaluado su eficacia, demostrando altas tasas de reconocimiento, una clasificación precisa de la especie focal y fiabilidad en la evaluación de los patrones de actividad vocal de aves silvestres (Amorós-Ausina et al. 2024, Pérez-Granados 2025, Mei et al. 2026, Singer et al. 2026).

El Chimango (*Daptrius chimango*) es una rapaz diurna común, distribuida desde Perú hasta Argentina (Ferguson-Lees & Christie 2001). Como especie oportunista y generalista, se la encuentra frecuentemente carroñeando tanto en ambientes urbanos como rurales en toda la Argentina (Solaro & Sarasola 2023, Gallego-García et al. 2024). Esta especie nidifica colonialmente entre octubre y enero, poniendo típicamente entre dos o tres huevos en octubre. Tras un período de incubación de 26 a 32 días, el período de cría se extiende durante diciembre y enero (Solaro & Sarasola 2015, 2023, Gallego-García et al. 2024). A pesar de su abundancia ecológica, su comportamiento vocal sigue siendo poco conocido; hasta la fecha, solo un estudio ha descrito formalmente el repertorio de la especie, identificando nueve vocalizaciones distintas que difieren en su estructura acústica y frecuencia de ocurrencia, con un único tipo de llamado que representa más del 50% de las vocalizaciones registradas (Solaro 2024). Sin embargo, la información cuantitativa sobre los patrones de actividad vocal de pichones y adultos a lo largo del período reproductivo sigue sin estar disponible.

En este estudio, nuestros objetivos fueron: (1) determinar los umbrales de confianza óptimos para identificar las vocalizaciones de pichones y adultos de Chimango mediante BirdNET, asegurando detecciones de alta probabilidad; (2) describir los patrones diarios de actividad vocal de ambos grupos etarios

durante el período de cría; y (3) evaluar si la actividad vocal varía a lo largo de las distintas etapas del desarrollo de los pichones. Predecimos que los patrones vocales fluctuarán a lo largo del desarrollo y estarán correlacionados positivamente con la presencia parental en el nido. Dado que la asistencia parental típicamente disminuye a medida que los pichones crecen (Gallego-García et al. 2024), esperamos que las mayores tasas de asistencia y aprovisionamiento estimulen una actividad vocal más intensa en los pichones jóvenes. Por el contrario, esperamos que los pichones de mayor edad presenten una actividad vocal reducida como estrategia antidepredatoria (Ibañez-Álamo et al. 2012) ante la ausencia de una protección parental constante. Asimismo, esperamos que la actividad vocal de los adultos alrededor del nido disminuya cuando los pichones alcancen aproximadamente los 30 días de edad, reflejando la reducción del cuidado parental general.

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo entre octubre de 2025 y enero de 2026 (primavera y verano australes) en una colonia reproductiva de Chimangos ubicada en La Cuesta del Sur (36°43'S, 64°16'O), que albergó más de 200 nidos durante el período de estudio. Esta colonia reproductiva se encuentra en las afueras de Santa Rosa, provincia de La Pampa, Argentina, y corresponde a un ambiente suburbano caracterizado por viviendas intercaladas con pequeños parches de pastizal y vegetación nativa, como el Caldén (*Neltuma caldenia*), el Molle (*Schinus fasciculatus*) y el Chañar (*Geoffroea decorticans*), así como algunas especies vegetales exóticas (Gallego-García et al. 2024). El área de estudio se ubica dentro del ecotono entre las ecorregiones del Espinal y la Pampeana, donde durante el verano austral el amanecer ocurre entre las 06:00 y las 06:30 h, y el atardecer entre las 20:15 y las 20:45 h (Gallego-García et al. 2024).

Recolección de datos acústicos

Registramos los patrones de actividad vocal durante el período de cría mediante la instalación de grabadoras acústicas automatizadas (Song Meter Micro 2; Wildlife Acoustics, Maynard, MA, EE.UU.), desde el momento en que se detectó el primer pichón, el 10 de noviembre de 2025, hasta que el último pichón abandonó el nido, el 29 de enero de 2026. Instalamos grabadoras automatizadas en 16 nidos separados entre sí por al menos 60 m de otros nidos

activos de Chimango, y ubicadas aproximadamente a 1-2 m del nido focal. Registramos la actividad vocal en nidos que contenían pichones de entre 1 y 30 días de edad, lo que abarca todo el período de desarrollo de los pichones (Solaro & Sarasola 2015, 2023, Gallego-García et al. 2024). Las grabadoras se programaron para grabar en formato .wav, con una tasa de muestreo de 44.1 kHz, resolución de 16 bits en estéreo, y una ganancia de 6 dB, durante los primeros 20 min de cada hora entre las 05:00 y las 21:00 h, a lo largo de tres días consecutivos. Esto arrojó un total de 867 grabaciones de audio, que sumaron 17,340 minutos grabados.

Clasificación de los datos

Como parte de un estudio de monitoreo vocal a largo plazo en curso dentro de la colonia de chimangos, habíamos identificado previamente, mediante grabaciones de audio activas, los llamados de mendicidad de pichones de Chimango en distintas etapas del desarrollo (datos no publicados; ejemplos en la Fig. 1). Dado que las vocalizaciones de esta especie siguen estando poco descriptas, estas grabaciones se utilizaron como material de referencia para distinguir los llamados de los pichones de las vocalizaciones de los adultos durante los análisis acústicos. Además, las descripciones previamente publicadas de las vocalizaciones de los adultos (Solaro 2024) permitieron la identificación de las vocalizaciones de adultos.

Seleccionamos aleatoriamente un subconjunto de 200 grabaciones de audio y generamos espectrogramas en Raven Pro 1.6 (versión 1.6; K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics, Cornell Lab of Ornithology, Cornell University, Ithaca, NY, EE.UU.) utilizando una ventana de Hann, FFT = 512, superposición del 50% y un tamaño de cuadro del 100%. Mediante cuadros de selección, clasificamos cada vocalización como perteneciente a un pichón o a un adulto, y extrajimos el tiempo de inicio, el tiempo de finalización, y las frecuencias máxima y mínima. También clasificamos y extrajimos datos de otros sonidos, como ruido de fondo, insectos y ladridos de perros. Este proceso dio como resultado un conjunto de datos que contenía 7806 fragmentos de datos acústicos.

A continuación, entrenamos un modelo de clasificación de BirdNET utilizando este conjunto de datos. El modelo se construyó a través de la pestaña 'Train' de la interfaz gráfica de BirdNET-Analyzer (versión 2.4.0; <https://github.com/kahst/BirdNET-Analyzer>). Seleccionamos nuestro conjunto de datos clasificado como datos de entrenamiento, y utilizamos Raven

como formato de salida del modelo. Ejecutamos BirdNET-Analyzer con los parámetros predeterminados: número de épocas = 50, tamaño de lote = 32, tasa de aprendizaje = 0.0001. Tras el proceso de entrenamiento, analizamos todas las grabaciones de audio utilizando la interfaz gráfica de BirdNET-Analyzer (versión 2.4, <https://github.com/kahst/BirdNET-Analyzer>; Kahl et al. 2021). Utilizamos un umbral de confianza de 0.1, un parámetro de sensibilidad de 1.0 y una superposición de 2 s. Incrementamos el parámetro de superposición respecto del valor predeterminado, ya que las pruebas preliminares mostraron que una superposición de 2 s permitía a BirdNET detectar un mayor número de llamados de pichones. Estudios previos también han sugerido que incrementar la superposición puede mejorar el desempeño de BirdNET a nivel de la vocalización (Kahl et al. 2021, Fairbairn & Meyer 2025, Pérez-Granados et al. 2025, Thompson et al. 2025).

Desempeño de BirdNET

Evaluamos el desempeño de BirdNET en la detección de las vocalizaciones de adultos y pichones de Chimango por separado. Evaluamos la exactitud sin aplicar ningún filtro de umbral de confianza; en cambio, la exactitud se definió como el porcentaje de predicciones correctamente identificadas sobre el total de predicciones revisadas (Knight et al. 2017, Amorós-Ausina et al. 2024). Para validar las salidas del modelo, seleccionamos aleatoriamente una muestra de 450 predicciones para cada categoría (adulto y pichón) a partir de la salida de BirdNET-Analyzer

generada a partir de los datos de grabación continua. Los datos de validación fueron completamente independientes y no compartieron archivos de audio con las 200 grabaciones utilizadas para el entrenamiento del modelo. Esta muestra incluyó 50 predicciones de cada intervalo de puntaje de confianza de 0.1, desde 0 hasta 1 (Bota et al. 2023, Amorós-Ausina et al. 2024). Para cada predicción, un observador entrenado inspeccionó y verificó la presencia o ausencia del sonido objetivo en el espectrograma de audio, en el segmento de 3 s indicado por BirdNET-Analyzer, utilizando el software Raven Pro 1.6. Estimamos la precisión dividiendo el número de predicciones de BirdNET correctamente clasificadas por el número total de predicciones de BirdNET verificadas, expresada como porcentaje (Bota et al. 2023, Amorós-Ausina et al. 2024).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Umbral de BirdNET

Utilizamos las 450 predicciones validadas obtenidas para cada grupo con el fin de determinar el umbral de puntaje de confianza correspondiente a una probabilidad del 95% de identificación correcta, siguiendo estudios previos (Bota et al. 2023, Pérez-Granados 2025). Este procedimiento nos permitió excluir las predicciones con puntajes de confianza bajos (Bota et al. 2023, Pérez-Granados 2025). Los puntajes de confianza de BirdNET se retrotransformaron a su escala logit original, siguiendo a Kelly et al. (2023) y Pérez-Granados (2025), con la siguiente fórmula:

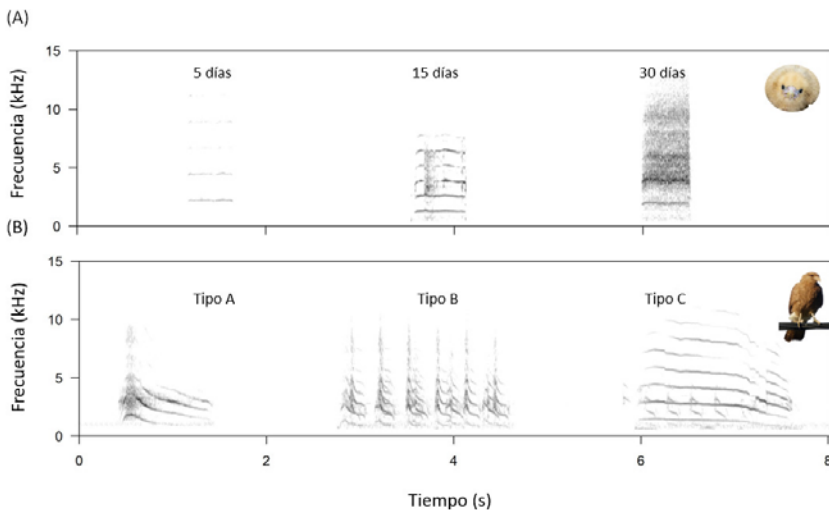


Figura 1. Espectrogramas de (A) llamados de mendicidad de pichones en distintas etapas del desarrollo, y (B) llamados de adultos de Chimango (*Daptrius chimango*), registrados en la colonia reproductiva de La Cuesta del Sur durante la temporada reproductiva 2025-2026. La fotografía del pichón en el panel A es cortesía de Angela Galarza, y la fotografía del adulto en el panel B es cortesía de Gallego García D.

Puntaje logit = $\ln(\text{puntaje de confianza} / (1 - \text{puntaje de confianza}))$

A continuación, ajustamos una regresión logística utilizando los valores verificados de identificación correcta vs. incorrecta como variable de respuesta, y el puntaje de predicción de BirdNET en escala logit como variable independiente. Para convertir los puntajes de BirdNET en la probabilidad de que una predicción dada, sugerida por el algoritmo, sea correcta, utilizamos la fórmula aplicada en estudios previos (Kelly et al. 2023, Pérez-Granados 2025):

$$\text{Umbral} = (\ln(p/(1-p)) - \alpha) / \beta$$

En la fórmula, p representa el umbral del puntaje de BirdNET correspondiente al 95%, α es la ordenada al origen de la regresión logística, y β es la pendiente de la regresión. El puntaje resultante se utilizó como umbral de confianza para considerar las predicciones de BirdNET como identificaciones fiables de pichones y adultos durante la descripción de los patrones de actividad. Para asegurar la independencia estadística de las vocalizaciones y evitar el conteo excesivo debido al análisis de segmentos superpuestos (superposición = 2 s), tratamos las detecciones de una misma categoría (pichones o adultos) ocurridas dentro de una ventana de 3 s como una única detección. En estos casos, conservamos únicamente el registro con el mayor puntaje de confianza para los análisis posteriores.

Patrones de actividad vocal

Ajustamos Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM) mediante el paquete *glmmTMB* (McGillcuddy et al. 2025) en R (R Core Team) para evaluar la actividad vocal de los pichones de Chimango y la actividad de los adultos de la colonia circundante durante el período de cría. Utilizamos una distribución Binomial Negativa (Tipo 2) para dar cuenta de la posible sobre-dispersión en los datos de conteo. Evaluamos el ajuste del modelo inspeccionando los residuos mediante el paquete *DHARMa* (Hartig 2024). Identificamos diferencias significativas utilizando pruebas post-hoc de Tukey a través del paquete *emmeans* (Lenth & Piaskowski 2025).

Para analizar los patrones de desarrollo de la actividad vocal entre los días 1 y 30, utilizamos como variable de respuesta el número de vocalizaciones de pichones detectadas por BirdNET tras aplicar el filtro de nuestro umbral de confianza. El modelo incluyó seis categorías de edad (1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25 y 26-30 días) y el Momento del Día (tratado como un factor categórico con cuatro niveles: Amanecer, Mañana,

Tarde y Atardecer) como efectos fijos, así como la interacción entre ambos, con el fin de identificar los patrones de actividad a lo largo del desarrollo. Para dar cuenta de la variación en el esfuerzo de muestreo, incluimos como offset el esfuerzo total transformado logarítmicamente (calculado como la duración de la grabación multiplicada por el número de pichones en el nido). Incluimos la Identidad del Nido como efecto aleatorio en el modelo.

Analizamos las vocalizaciones como un indicador indirecto (*proxy*) de la asistencia parental y de los niveles de actividad localizada cerca de los nidos focales. Ajustamos un GLMM adicional utilizando el número de vocalizaciones de adultos como variable de respuesta, para evaluar si la actividad vocal de los adultos variaba con la edad de los pichones. Los efectos fijos fueron la Categoría de Edad de los pichones focales y el Momento del Día. En este modelo, la duración de la grabación transformada logarítmicamente se incluyó como offset. La Identidad del Nido también se incluyó como efecto aleatorio.

RESULTADOS

Desempeño de BirdNET

La precisión de BirdNET varió entre las vocalizaciones de adultos y de pichones (Tabla 1). La menor precisión se observó para los llamados de los pichones, donde 344 de las 450 predicciones verificadas fueron clasificadas correctamente (76% de precisión, Tabla 1). En contraste, las vocalizaciones de adultos mostraron la mayor precisión, con 418 de 450 predicciones clasificadas correctamente (93% de precisión, Tabla 1). La probabilidad de clasificación correcta aumentó con el puntaje de confianza de cada predicción, lo que resultó en una mayor precisión a valores de confianza más altos. En este contexto, la precisión promedio de BirdNET para ambos grupos (pichones o adultos) entre puntajes de confianza de 0.1 - 0.3 fue del 69% (134 vocalizaciones de Chimango clasificadas correctamente de 200 predicciones de BirdNET verificadas, Tabla 1). La precisión aumentó al 79% para las predicciones con un puntaje de confianza entre 0.3 - 0.5 (157 vocalizaciones de Chimango clasificadas correctamente de 200 predicciones de BirdNET verificadas, Tabla 1).

Las regresiones logísticas mostraron que el puntaje de confianza mínimo para considerar las detecciones con una probabilidad del 95% de identificación correcta fue de 0.838 para las vocalizaciones de pichones y de 0.657 para las de adultos (Fig. 2).

Tabla 1. Número de predicciones de BirdNET correctamente clasificadas y precisión para la detección de vocalizaciones de adultos y pichones de Chimango (*Daptrius chimango*). Los valores se muestran por separado para cada grupo etario, en los siguientes intervalos de puntaje de confianza: 0.1-0.3; 0.3-0.5; >0.5; y para el rango completo, 0.1-1. El número total de predicciones verificadas se indica entre paréntesis.

Clases de intervalo de puntaje de confianza					
Grupo	Predicciones	0.1-0.3	0.3-0.5	> 0.5	0.1-1
Adultos	Correctas	84 (100)	94 (100)	240 (250)	418 (450)
	Precisión	84%	94%	96%	93%
Pichones	Correctas	54 (100)	63 (100)	227 (250)	344 (450)
	Precisión	54%	63%	91%	76%

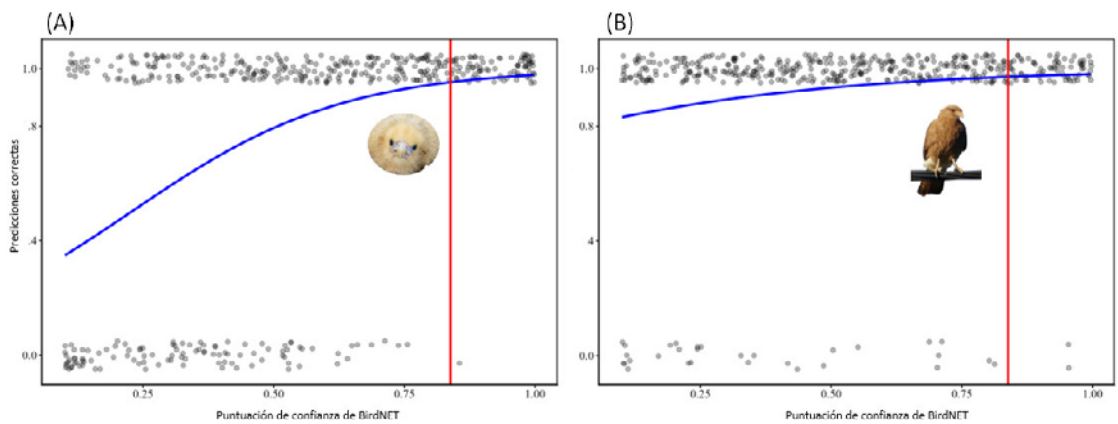


Figura 2. Relación entre la probabilidad de identificación correcta por parte de BirdNET y el puntaje de confianza de una predicción dada para el Chimango (*Daptrius chimango*), para (A) pichones y (B) adultos, mostrando el ajuste de la regresión logística (línea azul) y el umbral óptimo de puntaje de confianza identificado para cada grupo (línea roja). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando la escala logit del puntaje de predicción de BirdNET como variable independiente, aunque se representa el puntaje de confianza original de BirdNET con fines gráficos. La fotografía del pichón en el panel A es cortesía de Angela Galarza, y la fotografía del adulto en el panel B es cortesía de Gallego García D.

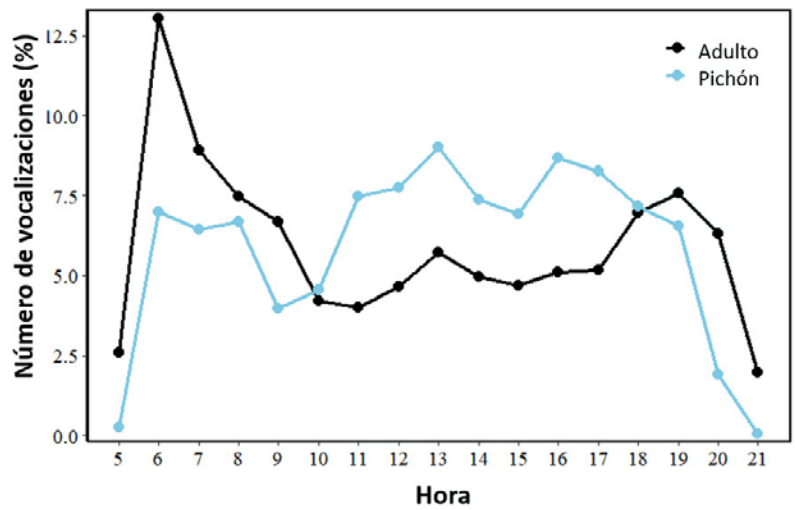


Figura 3. Patrones diarios de actividad vocal de adultos y pichones de Chimango (*Daptrius chimango*). La actividad diaria se expresa como el porcentaje de llamados respecto del número total de llamados detectados por hora en 16 nidos. La actividad vocal de los adultos se calculó como llamados por duración de grabación, mientras que la actividad vocal de los pichones se normalizó por la duración de la grabación y el número de individuos presentes por nido. La actividad de los adultos se representa con la línea negra, y la de los pichones, con la línea azul.

Patrones de actividad vocal

La actividad vocal se describió utilizando las detecciones obtenidas tras aplicar los umbrales de confianza. En consecuencia, el conjunto de datos utilizado para describir los patrones de actividad vocal incluyó 5773 vocalizaciones de pichones y 9533 vocalizaciones de adultos predichas por BirdNET (en adelante, vocalizaciones). Los patrones diarios de actividad vocal difirieron entre pichones y adultos (Fig. 3). Las vocalizaciones de los pichones mostraron un patrón de actividad homogéneo, con un único pico de actividad durante las horas centrales del día, entre las 11:00 y las 18:00 h (Fig. 3). En cambio, las vocalizaciones de los adultos mostraron un patrón bimodal, con la mayor actividad vocal en torno al amanecer, a las 6:00 h, seguida de una disminución de la actividad vocal durante las horas centrales, entre las 11:00 y las 18:00 h, y un segundo pico, de menor magnitud, que comenzaba antes del atardecer, a las 18:00 h (Fig. 3).

No encontramos diferencias significativas en la actividad vocal de los pichones entre las distintas etapas del desarrollo ($X^2 = 3.614$, $df = 5$, $p = 0.606$). Sin embargo, la interacción entre la etapa de desarrollo y la hora del día sugirió diferencias en la actividad diaria según la edad de los pichones ($X^2 = 26.060$, $df = 15$, $p < 0.050$). Los pichones más jóvenes (de 1 a 15 días de edad) mostraron un aumento progresivo de la actividad vocal a lo largo del día, con la mayor actividad vocal cerca del atardecer y por la mañana. En cambio, los pichones de mayor edad (de 16 a 30 días de edad) mostraron una disminución de la actividad vocal a lo largo del día, con la mayor actividad vocal en torno al amanecer (Fig. 4). Un modelo paralelo que trató la edad de los pichones como variable continua confirmó estos mismos patrones diarios en la interacción ($X^2 = 13.250$, $p < 0.005$). Además, una validación mediante un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) confirmó estas tendencias.

Por otro lado, a pesar de que el efecto global de la edad de los pichones sobre la actividad vocal de los adultos fue significativo ($X^2 = 20.255$, $df = 5$, $p = 0.001$), las comparaciones post-hoc revelaron un pico de actividad durante las etapas intermedias y tardías de la nidificación. En comparación con la etapa temprana (días 1-5), la actividad de los adultos fue significativamente mayor cuando los pichones tenían entre 16 y 20 días (Ratio = 4.487 ± 1.660 , $z = 4.050$, $p < 0.001$) y entre 21 y 25 días (Ratio = 3.545 ± 1.240 , $z = 3.611$, $p < 0.005$). Se observó una tendencia significativa similar cuando los pichones tenían entre 26 y 30 días (Ratio = 4.358 ± 2.180 , $z = 2.947$, $p < 0.050$). Estas comparaciones específicas (Fig. 5) indican

un marcado incremento de la actividad vocal de los adultos durante las etapas intermedias y tardías del desarrollo de los pichones, con un aumento sustancial del esfuerzo parental, que casi cuadruplica las tasas iniciales de las primeras etapas. Un modelo paralelo que trató la edad de los pichones como variable continua confirmó este incremento significativo de la actividad vocal de los adultos a lo largo del desarrollo ($X^2 = 7.111$, $p < 0.050$). Además, una validación mediante GAM confirmó estas tendencias.

DISCUSIÓN

Este estudio ofrece una de las primeras descripciones cuantitativas de los patrones diarios de actividad vocal, tanto en pichones como en adultos, de una especie de rapaz durante la temporada reproductiva. Mediante el monitoreo acústico pasivo, encontramos que los adultos de Chimango presentaron un patrón bimodal de actividad vocal, típico de las aves diurnas, mientras que los pichones vocalizaron a lo largo de todo el día, con un pico pronunciado alrededor del mediodía. Asimismo, el efecto de interacción significativo indica que la influencia de la edad de los pichones sobre la actividad vocal está modulada por el momento del día, con cambios relacionados con la edad que se manifiestan como una marcada disminución del comportamiento de mendicidad por la tarde. Esto sugiere que, si bien ocurren cambios ontogenéticos, estos operan en conjunto con factores ecológicos de corto plazo, como los horarios diarios de aprovisionamiento parental y los niveles fluctuantes de hambre, para determinar los patrones de mendicidad.

Nuestros resultados validan la eficacia de BirdNET para identificar las vocalizaciones tanto de pichones como de adultos de Chimango, siempre que se aplique un umbral de confianza optimizado. Esto concuerda con investigaciones previas que demuestran que los algoritmos de aprendizaje profundo pueden distinguir con éxito entre diferentes etapas de vida, como juvenil y adulto, con una alta exactitud de clasificación (Kelly et al. 2023). Durante las pruebas preliminares, observamos que los llamados de mendicidad de los pichones de 15 y 30 días de edad eran frecuentemente confundidos con los del Benteveo (*Pitangus sulphuratus*) y la Cotorra (*Myiopsitta monachus*), respectivamente, especies también comunes en el área de estudio. Sin embargo, este problema se mitigó en gran medida al implementar una superposición de 2 s en el análisis. Bajo estos parámetros, registramos solo 24 clasificaciones erróneas de las 450 predicciones validadas, todas ellas dentro de un rango de confianza bajo (0.1-0.6). Estos hallazgos sugieren que

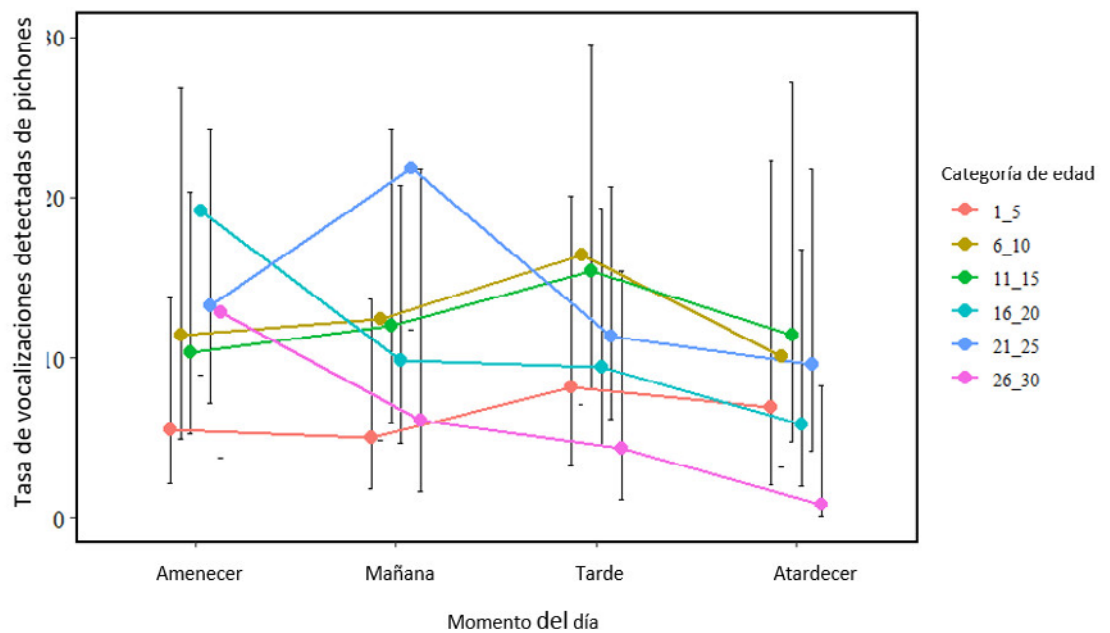


Figura 4. Actividad vocal predicha de los pichones de Chimango (*Daptrius chimango*) y la interacción entre el momento del día y las etapas de desarrollo de los pichones, categorizadas en intervalos de cinco días (1-5 a 26-30 días). Cada línea de color representa un grupo etario específico, con puntos que indican los valores medios predichos y barras verticales negras que representan los intervalos de confianza del 95%. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando las predicciones de BirdNET como variable dependiente, y la categoría de edad y el momento del día como variables independientes.

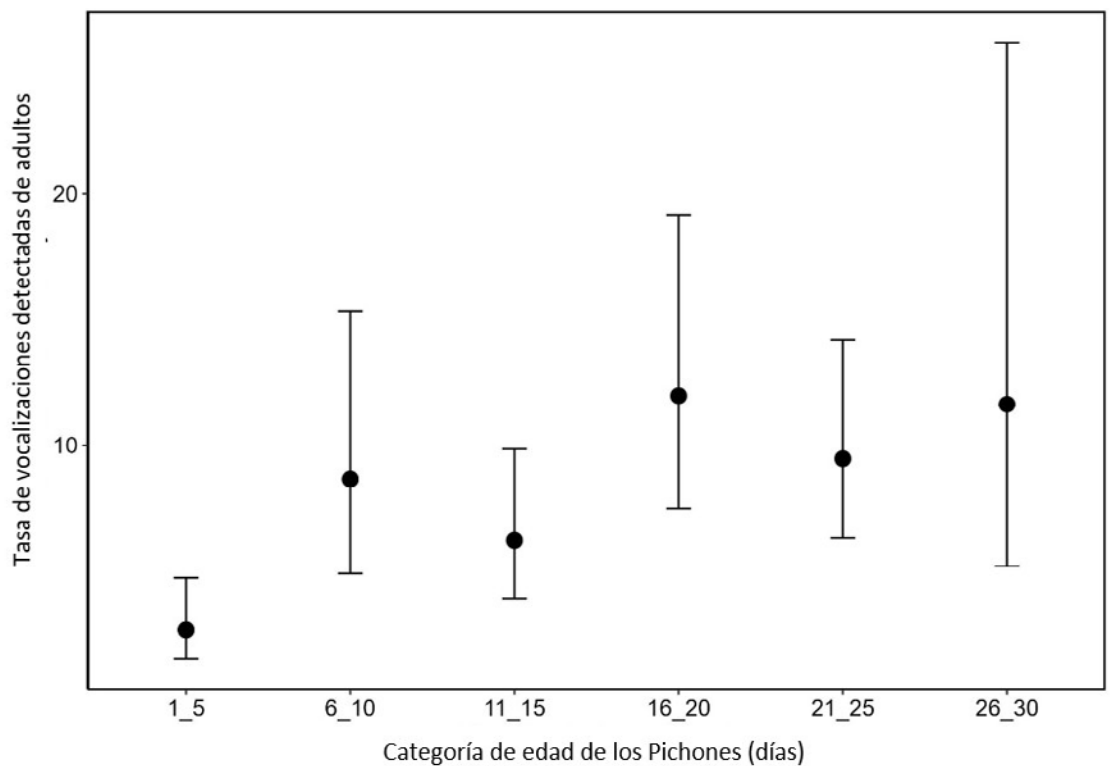


Figura 5. Actividad vocal predicha de los adultos de Chimango (*Daptrius chimango*) a lo largo de las etapas de desarrollo de los pichones, categorizadas en intervalos de cinco días (1-5 a 26-30 días). Los círculos gris claro representan los datos observados, los círculos negros representan los valores medios predichos, mientras que las barras verticales indican los intervalos de confianza del 95%. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando las predicciones de BirdNET como variable dependiente, y la categoría de edad y el momento del día como variables independientes.

el ajuste fino de parámetros de detección específicos es esencial para mejorar el desempeño del algoritmo en repertorios vocales específicos de cada especie, tal como destacan estudios recientes (Fairbairn & Meyer 2025, Pérez-Granados et al. 2025). Esto también corrobora la alta probabilidad de identificación correcta que obtuvimos tras ajustar el modelo para puntajes de confianza superiores a 0.8 en el caso de los pichones.

Los adultos de Chimango presentaron un patrón bimodal de actividad vocal durante el verano austral, particularmente a lo largo del período de cría (noviembre-enero). Se han documentado patrones diarios similares en varias especies de aves (Pérez-Granados & Schuchmann 2020, Amorós-Ausina et al. 2024). En ese contexto, los patrones bimodales de actividad vocal son comunes en las aves diurnas y suelen asociarse con los ciclos diarios de luz, con picos que ocurren cerca del amanecer y del atardecer, cuando las condiciones ambientales favorecen la comunicación acústica y las interacciones sociales (Catchpole & Slater 2003, Gil & Llusia 2020). A diferencia de los adultos, los pichones de Chimango mostraron un patrón vocal distinto, vocalizando de manera continua a lo largo del día, pero con un pico pronunciado durante las horas del mediodía. Las vocalizaciones de solicitud de alimento en los pichones están estrechamente relacionadas con los niveles de hambre y con las tasas de aprovisionamiento parental, aumentando típicamente cuando se prolonga el intervalo entre eventos de alimentación (Kilner & Rufus 1997, Leonard & Horn 2001, Klenova 2015). Por lo tanto, el patrón inverso respecto de la actividad vocal de los adultos podría estar asociado con períodos de menor asistencia parental al nido.

Curiosamente, no detectamos diferencias en la actividad vocal global de los pichones entre las distintas etapas del desarrollo, aunque sí se observó una clara variación diaria. Los pichones más jóvenes de Chimango (≤ 15 días de edad) redujeron progresivamente su actividad vocal hacia el atardecer, mientras que los pichones de mayor edad (≥ 16 días de edad) mostraron una mayor actividad vocal durante las horas del amanecer. Este cambio refleja variaciones en el comportamiento de solicitud de alimento asociadas con los patrones diarios de aprovisionamiento parental. En muchas especies de aves, la intensidad de la mendicidad de los pichones refleja los niveles de hambre y típicamente aumenta cuando los eventos de alimentación son menos frecuentes o predecibles (Kilner & Rufus 1997). En consecuencia, la mayor actividad de llamados de los pichones de mayor edad

durante las primeras horas de la mañana podría estar vinculada con un incremento de la actividad parental y de la entrega de alimento tras el ayuno nocturno. Este patrón podría reflejar diferencias en la forma en que los pichones ajustan su comportamiento de pedido de alimento a los horarios diarios de aprovisionamiento a lo largo del desarrollo, mientras que la asistencia y el aprovisionamiento parental permanecen relativamente constantes durante las primeras etapas del desarrollo (Leonard & Horn 2001). Se han reportado patrones diarios similares en el comportamiento de pedido de alimento de pichones en otras especies de aves, comúnmente asociados con ritmos diarios predecibles en la actividad de forrajeo y aprovisionamiento parental (Leonard & Horn 2001).

También encontramos que la actividad vocal de los adultos de Chimango aumentó cuando los pichones tenían entre 15 y 30 días de edad. Este resultado es destacable, dado que estudios previos sobre el cuidado parental en esta especie han mostrado que la asistencia parental directa al nido tiende a disminuir a medida que los pichones crecen (Gallego-García et al. 2024). Nuestros resultados sugieren que, si bien los adultos podrían reducir el tiempo que permanecen directamente en el nido, continúan activos e interactuando con los pichones en el área circundante. Patrones similares se han observado en otras especies de rapaces, en las que el cuidado parental pasa gradualmente de la asistencia directa al nido al aprovisionamiento y monitoreo desde perchas cercanas a medida que los pichones se aproximan al emplume (Sonerud et al. 2014).

Las vocalizaciones producidas por los pichones cumplen un papel central en la comunicación entre padres y crías, particularmente como señales de hambre y condición que pueden influir en las decisiones de aprovisionamiento parental. A pesar de su importancia, relativamente pocos estudios han cuantificado los patrones diarios de actividad vocal en pichones. Mediante el monitoreo acústico pasivo combinado con el reconocimiento automatizado de sonido, nuestro estudio aporta nuevos conocimientos sobre la dinámica temporal de la actividad vocal de los pichones de Chimango, revelando patrones claros de variación diaria en el comportamiento de llamado durante la temporada reproductiva. Estos hallazgos resaltan la importancia de la dinámica conductual diaria en la determinación de la actividad vocal de las aves en desarrollo, y demuestran el potencial de los enfoques de monitoreo acústico para investigar patrones conductuales que de otro modo resultan difíciles de observar de forma continua en el campo,

particularmente en rapaces coloniales. Además, este enfoque de monitoreo acústico continuo puede aprovecharse para ampliar el conocimiento conductual de grano fino, eliminando el sesgo del observador y proporcionando información ininterrumpida sobre cómo varía el comportamiento vocal entre distintas estaciones, etapas de vida del desarrollo, y contextos ecológicos fluctuantes. Las futuras investigaciones en esta especie también deberían enfocarse en aportar una descripción cuantitativa detallada de la ontogenia vocal de los pichones de Chimango, así como en realizar ensayos experimentales para determinar si los padres pueden reconocer los llamados individuales de sus pichones dentro del ambiente colonial.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los vecinos de La Cuesta del Sur por permitirnos estudiar la colonia en sus propiedades. Agradecemos a Elena Ramos por ayudarnos a instalar las grabadoras acústicas automatizadas, y a Celia Quesada Pizarro y Jon Fernández, del Global Training Program de la Universidad del País Vasco (UPV), por su ayuda en el procesamiento de datos. También agradecemos a Hawk Mountain Sanctuary-Project Soar por el apoyo financiero. El estudio se llevó a cabo bajo permisos de la Dirección de Recursos Naturales (provincia de La Pampa, Argentina).

USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Utilizamos inteligencia artificial para la revisión y edición del lenguaje.

REFERENCIAS

- Amorós-Ausina A, Schuchmann KL, Marques MI, Pérez-Granados C (2024) Living Together, Singing Together: Revealing Similar Patterns of Vocal Activity in Two Tropical Songbirds Applying BirdNET. *Sensors* 24(17):5780. <https://doi.org/10.3390/s24175780>
- Bota G, Manzano-Rubio R, Catal L & Julia G (2023) Hearing to the Unseen: AudioMoth and BirdNET as a Cheap and Easy Method for Monitoring Cryptic Bird Species. *Ardeola* 70(1):1-11. <https://doi.org/10.3390/s23167176>
- Cadiou B, Monnat JY (1996) Parental attendance and squatting in the Kittiwake *Rissa tridactyla* during the rearing period. *Bird Study* 43(2):164-171. <https://doi.org/10.1080/00063659609461009>
- Catchpole CK, Slater PJ (2003) Bird song: biological themes and variations. Cambridge University Press, Cambridge
- Darras K, Bátary P, Fumas B, Grass I, Mulyani Y, Tscharnke T (2019) Autonomous sound recording outperforms human observation for sampling birds: a systematic map and user guide. *Ecological Applications* 29(6):e01954. <https://doi.org/10.1002/eap.1954>
- Fairbairn AJ, Meyer ST (2025) BirdNET can be as good as experts for acoustic bird monitoring in a European city. *PLoS ONE* 20(1):1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0330836>
- Ferguson-Lees J, Christie D (2001) Raptors of the world. Houghton Mifflin Company, Boston
- Gallego-García D, Larrea M, Solaro C, Sarasola JH (2024) Biparental Care in a Generalist Raptor, the Chimango Caracara in Central Argentina. *Journal of Raptor Research* 58(2):176-184. <https://doi.org/10.3356/JRR-23-16>
- Gil D, Llusia D (2020) The bird dawn chorus revisited. En: Brumm H (eds) *Strategies in vertebrate acoustic communication*. Springer International Publishing, Cham. Pp. 45-90
- Hartig F (2024) DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/Mixed) Regression Models. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.DHARMA>
- Ibañez-Álamo J, Arco J, Soler M (2012) Experimental evidence for a predation cost of begging using active nests and real chicks. *Journal of Ornithology* 153(3):801-807. <https://doi.org/10.1007/s10336-011-0797-8>
- Kahl S, Wood CM, Eibl M, Klinck H (2021) Ecological Informatics BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. *Ecological Informatics* 61(1):101236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101236>
- Kelly KG, Wood CM, McGinn K, Kramer HA, Sawyer SC, Whitmore S, Reid D, Kahl S, Reiss A, Eisman J, Berigan W, Keane JJ, Shaklee P, Gallagher L, Munton TE, Klinck H, Gutierrez RJ, Peery MZ, Yang KL (2023) Estimating population size for California spotted owls and barred owls across the Sierra Nevada ecosystem with bioacoustics. *Ecological Indicators* 154(1):110851. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110851>
- Kilner R, Johnstone RA (1997) Begging the question: are offspring solicitation behaviours signals of need? *Trends in Ecology and Evolution* 12(1):11-15. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(96\)10061-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(96)10061-6)
- Klenova AV (2015) Chick Begging Calls Reflect Degree of Hunger in Three Auk Species (Charadriiformes: Alcidae). *PLoS ONE* 10(11):e0140151. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140151>
- Knight EC, Hannah KC, Foley GJ, Scott CD, Brigham RM, Bayne E (2017) Recommendations for acoustic recognizer performance assessment with application to five common automated signal recognition programs. *Avian Conservation and Ecology* 12(2):14. <https://doi.org/10.5751/ACE-01114-120214>
- Lenth R, Piaskowski J (2025) emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R

- package version 1.11.1. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.emmeans>
- Leonard ML, Horn AG (2001) Begging in the absence of parents by nestling tree swallows. *Behavioral Ecology* 12(4):501-505. <https://doi.org/10.1093/beheco/12.4.501>
- Liu W, Kroodsma D (2007) Dawn and Daytime Singing Behavior of Chipping Sparrows (*Spizella passerina*). *The Auk* 124(1):44-52. <https://doi.org/10.1093/auk/124.1.44>
- Mah AN, Puan CL, Zakaria M (2023) Vocal Activity Patterns of the Changeable Hawk-Eagle (*Nisaetus cirrhatus*) in Peninsular Malaysia During Mid-breeding Season. *Journal of Raptor Research* 57(3):393-404. <https://doi.org/10.3356/JRR-22-72>
- Marchenko AA, Boehme IR, Sarychev EI (2018) Ontogenesis of vocal behavior in diurnal birds of prey using the saker falcon (*Falco cherrug*) as an example and the goshawk (*Accipiter gentilis*). *Biology Bulletin* 45(1):712-722
- Marin-Gómez OH, García-Arroyo M, Sánchez-Sarria CE, Sosa-López RJ, Diego SA, Ian MF (2020) Night-life in the city: drivers of the occurrence and vocal activity of a tropical owl. *Avian Research* 11(9):1-14. <https://doi.org/10.1186/s40657-020-00197-7>
- McGillycuddy M, Warton DI, Popovic G, Bolker BM (2025) Parsimoniously Fitting Large Multivariate Random Effects in glmmTMB. *Journal of Statistical Software* 112(1):1-19. <https://doi.org/10.18637/jss.v112.i01>
- McLoughlin MP, Stewart R, McElligott AG (2019) Automated bioacoustics: methods in ecology and conservation and their potential for animal welfare monitoring. *Journal of The Royal Society Interface* 16(155):20190225. <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0225>
- Mei J, Li L, Zhang W, Shi J, Zhao S, Yong F, Ge X (2026). Patterns of Vocal Activity of the Chinese Bamboo Partridge Using BirdNET Analyzer. *Animals* 16(2):303. <https://doi.org/10.3390/ani16020303>
- Odom K, Mennill DJ (2010) A Quantitative Description of the Vocalizations and Vocal Activity of the Barred Owl. *Condor* 112(3):549-560. <https://doi.org/10.1525/cond.2010.090163>
- Penteriani V, Gallardo M, Cazassus (2000). Diurnal Vocal Activity of Young Eagle Owls and Its Implications in Detecting Occupied Nests. *Journal of Raptor Research* 34(3):232-235
- Pérez-Granados CP, Schuchmann KL (2020) Diel and Seasonal Variations of Vocal Behavior of the Neotropical White-Tipped Dove (*Leptotila verreauxi*). *Diversity* 12(10):402. <https://doi.org/10.3390/d12100402>
- Pérez-Granados C (2025) Birdnet Confidence Scores Decrease with Bird Distance from the Recorder: Revisiting Pérez-Granados (2023). *Ardeola* 72(2):149-159. <https://doi.org/10.13157/arla.72.2.2025.fo1>
- Pérez-Granados C, Schuchmann KL (2022) Automated signal recognition as a useful tool for monitoring little-studied species: The case of the Band-tailed Nighthawk. *Ecological Informatics* 72:101861. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101861>
- Pérez-Granados C, Schuchmann KL (2025). Diel and Annual Patterns of Vocal Activity of Three Neotropical Wetland Birds Revealed via BirdNET. *Diversity* 17(5):324. <https://doi.org/10.3390/d17050324>
- Pérez-Granados C, Funosas D, Morant J, ..., Sebastián-González E (2026) Optimization of passive acoustic bird surveys: a global assessment of BirdNET settings. *Ibis* 168(2):785-798. <https://doi.org/10.1111/ibi.70013>
- Singer D, Kamp J, Hondong H, Schuldt A, Hagge J (2026) Diel and seasonal vocal activity patterns revealed by passive acoustic monitoring suggest expert recommendations for breeding bird surveys need adjustment. *Journal of Ornithology* 167(1):165-180. <https://doi.org/10.1007/s10336-025-02307-y>
- Solaro C, Sarasola JH (2015) Nest-spacing, not human presence, influences the breeding of Chimango Caracaras (*Milvago chimango*) in a peri-urban reserve. *Emu* 115(1):72-75
- Solaro C, Sarasola JH (2023) Breeding performance is explained for coloniality and phenology but not for urbanization in a generalist raptor bird. *Urban Ecosystems* 26(3):743-753. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01319-3>
- Solaro C (2024) Vocal Repertoire of Chimango Caracaras in Rural and Urban Habitats. *Journal of Raptor Research* 58(2):221-228. <https://doi.org/10.3356/JRR-23-25>
- Sonerud GA, Steen R, Løw LM, Røed LT, Skar K, Selås V, Slagsvold T (2014) Evolution of parental roles in raptors: prey type determines role asymmetry in the Eurasian kestrel. *Animal Behaviour* 96:31-38. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.07.011>
- Thompson MC, Ducey MJ, Rowe RJ (2025) A post-processing framework for assessing BirdNET identification accuracy and community composition. *Ibis* 167(2):530-542. <https://doi.org/10.1111/ibi.13357>