



RESUMEN DE POLÍTICAS

# Las aves como indicadores de carbono y salud de los ecosistemas

Gavilán caminero, Bahía de Parita.

Mike Fernandez / National Audubon Society

## Introducción

Los manglares son ecosistemas vitales que sustentan la biodiversidad y desempeñan un papel crucial en el secuestro de carbono. Desafortunadamente, los manglares se enfrentan a amenazas crecientes debido al cambio climático y las actividades humanas. Si bien los estudios acústicos de los manglares se han llevado a cabo ampliamente en el Viejo Mundo, hay un conocimiento limitado sobre estos ecosistemas en el Neotrópico.

Este estudio, que es parte del proyecto Patrimonio Natural Azul, aborda este vacío mediante el empleo de monitoreo acústico para estudiar las poblaciones de aves dentro de los manglares de las bahías de Panamá y Parita. Dado que las aves sirven como indicadores de la salud de los ecosistemas, los datos recopilados y las metodologías desarrolladas pueden contribuir a la gestión y conservación sostenibles de estos hábitats clave.

El objetivo de este estudio piloto fue estimar la relación entre la abundancia de especies de aves y varios factores del hábitat, en particular las reservas de carbono, en sitios de bosques de manglares en la costa del Pacífico de Panamá.

Las estimaciones de la abundancia de especies de aves se derivaron de grabaciones recopiladas a través de monitoreo acústico pasivo y se analizaron utilizando modelos de aprendizaje automático, escucha humana y modelos estadísticos jerárquicos bayesianos.

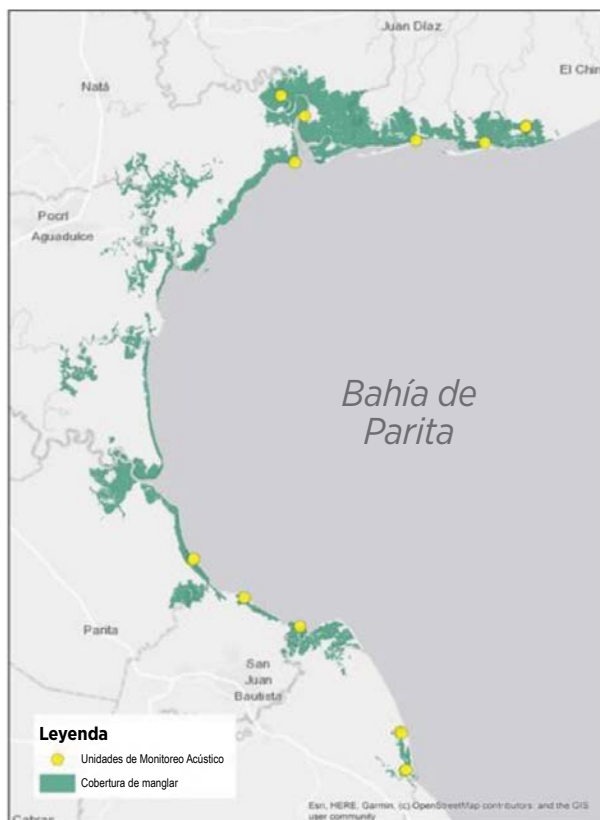
## Objetivos

- Establecer una línea base de la composición y diversidad de aves en los manglares de las bahías de Parita y Panamá.
- Analizar la relación entre la riqueza de especies de aves y el secuestro de carbono en puntos de muestreo ubicados en manglares.
- Examinar la relación entre la diversidad de aves y los índices relacionados con la salud de los ecosistemas.



Breanna Wilson / National Audubon Society

Reinita de manglar/reinita amarilla.



Cubierta de manglares y lugares donde se desplegaron unidades autónomas de registro en la Bahía de Parita y la Bahía de Panamá.

## Metodología

El estudio fue coordinado por Audubon Américas (Jorge Velásquez), el trabajo de campo fue realizado por la Sociedad Audubon de Panamá (Oscar López, Christian Torres, Yenifer Díaz) y Audubon Américas (Jorge Velásquez y Diego Lizcano). La anotación de audio fue realizada por Santiago Muñoz Bolaños y Juan David García (Universidad ICESI). Los análisis estadísticos fueron realizados por Justin Kitzes, Cameron Fiss y Santiago Ruiz Guzmán en U Pitt. El apoyo de SIG estuvo a cargo de Jorge Velásquez, Daniela Linero y José Miguel Guevara (Audubon Américas).

### 1. Recopilación de datos

Los AudioMoths son dispositivos de monitoreo acústico de código abierto y baja potencia que permiten la grabación pasiva de sonidos durante largos períodos de tiempo. Un total de 30 AudioMoths recopilaron grabaciones (16 en la Bahía de Parita y 14 en la Bahía de Panamá). Fueron desplegados en una distribución uniforme entre las zonas estuarinas o ribereñas y las zonas costeras o de playa. Los investigadores recopilaron grabaciones acústicas de cada punto de muestreo, obtuvieron covariables de hábitat para cada punto del equipo de carbono y datos de teledetección, y recopilaron información secundaria sobre el estado de conservación y los rasgos funcionales de las especies de aves detectadas.

### 2. Revisión y validación

Los investigadores utilizaron BirdNET, un clasificador de canto de aves de código abierto del Laboratorio de y la Universidad Tecnológica de Chemnitz, para identificar especies en grabaciones acústicas. BirdNET divide las grabaciones largas en clips de tres segundos y predice qué especies de aves están presentes en cada clip. Debido a que BirdNET, al igual que otros clasificadores de cantos de aves, tiene altas tasas de falsos positivos (detecciones incorrectas) y falsos negativos (detecciones omitidas), se requirió una revisión más profunda de expertos. Los expertos corrigieron los falsos positivos, y los modelos estadísticos dieron cuenta de los falsos negativos. Un total de 29.255 grabaciones de audio fueron analizadas y validadas manualmente.

### 3. Estimación de la abundancia de especies y su relación con las variables del hábitat

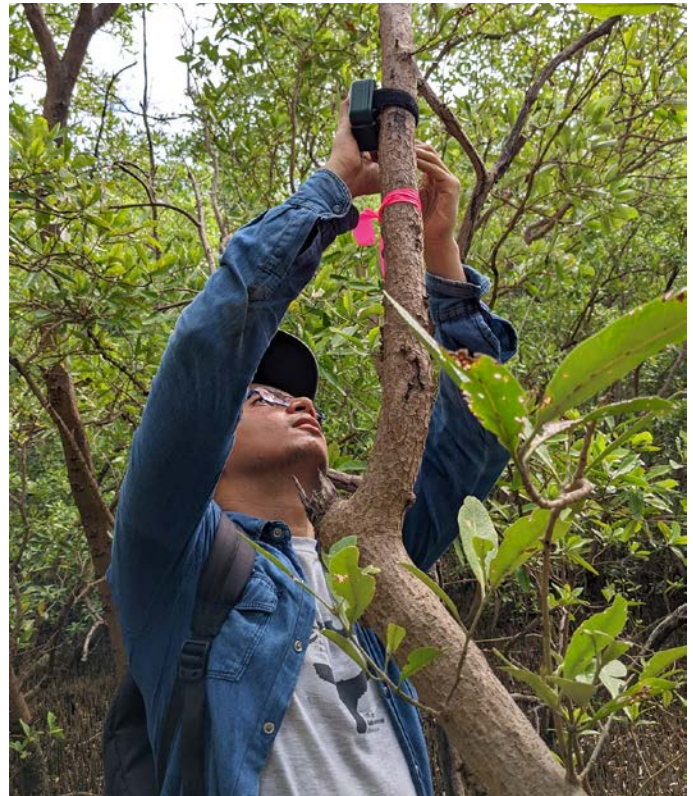
Los investigadores utilizaron el modelo jerárquico de Royle-Nichols, que utiliza el historial de detección (presencia o ausencia) para estimar la abundancia.

Luego, los investigadores analizaron cómo 13 factores del hábitat influyeron en la abundancia de especies y las métricas de la comunidad en cada sitio. Estos factores incluyeron variables de la estructura de la vegetación (biomasa aérea, diámetro medio a la altura del pecho, altura media del dosel, verdor de la vegetación-NDVI y tipo de manglar), variables del suelo (nitrógeno, fósforo, carbono subterráneo, pH, conductividad) y perturbación humana medida por el Mapa de Huella Humana.

### 4. Cálculo de métricas de diversidad a nivel comunitario y relaciones de hábitat

Para evaluar cómo influyen los factores del hábitat en la diversidad de las aves, los investigadores calcularon tres métricas de diversidad comunitaria en cada punto de estudio y evaluaron su relación con las variables del hábitat.

- Índice de Amigabilidad con las Aves (IAA): Desarrollado por la National Audubon Society, el IAA toma en cuenta la abundancia de especies, el estado de conservación y la diversidad funcional. La diversidad funcional se calculó utilizando rasgos como la dieta y el comportamiento de búsqueda de alimento.
- Tasa de llamadas: el número de clips de audio de tres segundos con llamadas de especies.
- Riqueza de especies: El número de especies en cada punto a partir de grabaciones de audio validadas.



Jorge Velásquez / National Audubon Society

Los AudioMoths son pequeños grabadores que utilizan tecnología de código abierto y permiten la grabación pasiva durante largos periodos de tiempo.

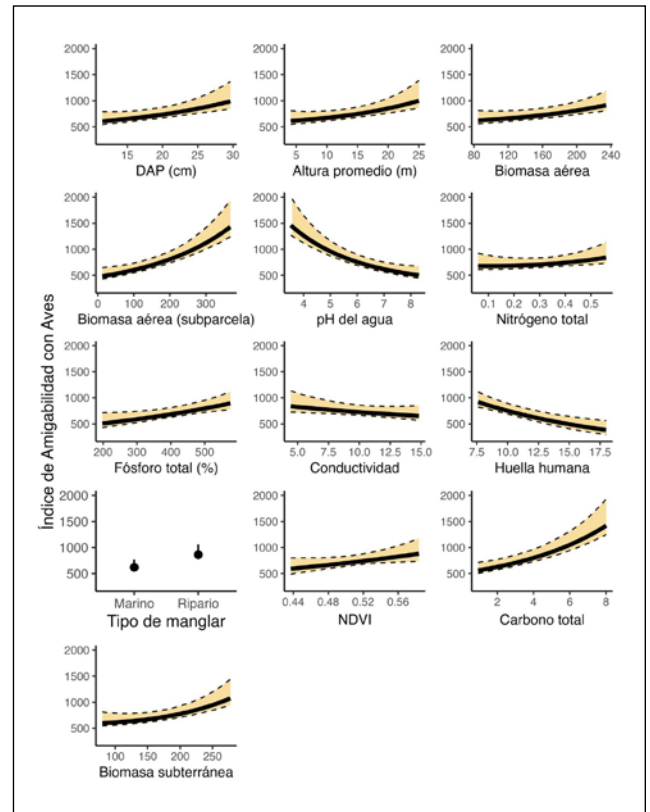
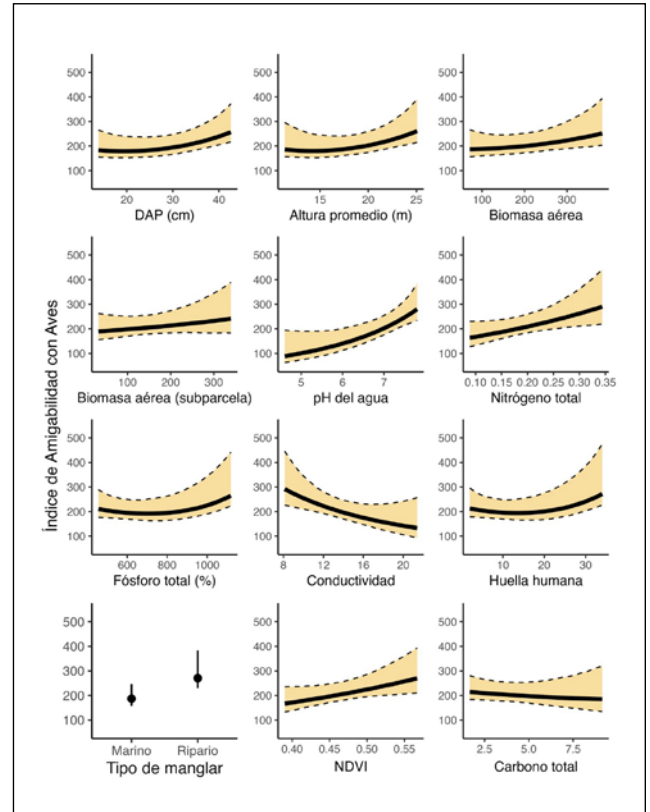
## Resultados – Principales conclusiones

### Una nueva y prometedora metodología

- El primer estudio de este tipo centrado en los manglares de una región neotropical documentó 85 especies de aves —61 en la Bahía de Parita y 53 en la Bahía de Panamá—, incluidas 27 y 8 especies en cada sitio que se detectaron en cada área respectiva por primera vez.
- El estudio generó información clave para la conservación de los manglares. También demostró un flujo de trabajo escalable y eficaz para el uso de unidades de registro automatizadas para evaluar las especies de aves, las características de la comunidad y sus relaciones con los impulsores del hábitat. Este enfoque podría ampliar los estudios de biodiversidad sin depender únicamente de los técnicos de campo.

### Relaciones complejas entre el hábitat y las aves

- Las variables del hábitat, como el carbono, la biomasa y el tipo de manglar, muestran relaciones complejas y específicas de cada especie en la abundancia de aves. La abundancia de ciertas especies de aves parece ser un indicador de carbono y otras medidas de la complejidad estructural de la vegetación.
- Aunque las especies mostraron respuestas idiosincráticas a diferentes variables del hábitat, las respuestas de las comunidades de aves a estas variables fueron generalmente consistentes en las tres métricas comunitarias que se analizaron. Sin embargo, la mayoría de las variables del hábitat no mostraron efectos estadísticamente significativos sobre la comunidad de aves, debido a los limitados tamaños de muestra disponibles. Los efectos potenciales notables incluyeron relaciones positivas en la Bahía de Parita entre el IAA y el carbono total y la biomasa aérea a nivel de subparcela, así como relaciones negativas entre el IAA y el pH del suelo y la huella humana.
- Aunque el poder estadístico del análisis fue limitado, los resultados apoyan en gran medida la hipótesis de que una mayor complejidad estructural, indicada por variables como el DAP (diámetro a la altura del pecho), la salud de la vegetación y la altura de los árboles se correlaciona con una mayor diversidad para las especies de aves asociadas a los manglares.
- También se observó una relación positiva (aunque no estadísticamente significativa) entre el carbono aéreo y las medidas de diversidad, lo que concuerda con los hallazgos para la DAP y la altura de los árboles.



Relación entre las variables del hábitat y el Índice de Amabilidad para las Aves (IAA) en la Bahía de Panamá (arriba) y la Bahía de Parita (abajo).

### Resultados de las métricas de la comunidad

- Cuando se analizaron a nivel de comunidad, los efectos de las variables de hábitat variaron ampliamente, pero en general fueron consistentes en las tres métricas comunitarias que se evaluaron: riqueza observada, llamadas totales y IAA. Debido al número limitado de puntos de estudio por sitio, los modelos estadísticos a menudo carecían de suficiente potencia para identificar relaciones significativas entre las métricas de la comunidad y las variables del hábitat.
- Se encontraron algunas relaciones significativas en la Bahía de Parita, donde el IAA muestra relaciones positivas tanto con el carbono total como con la biomasa aérea a nivel de subparcela, y relaciones negativas con el pH del suelo y la huella humana. En el futuro, tamaños de muestra más grande y una gama más amplia de variables de hábitat en todos los puntos de estudio podría mejorar el poder estadístico de dichos análisis.

### Otros hallazgos

- Los niveles de carbono del suelo son estables y pueden no reflejar cambios a corto plazo en las comunidades de aves. Las aves pueden responder indirectamente a las características del hábitat, como el carbono, a través de la influencia de estas características en los sitios de anidación o la disponibilidad de alimentos.

- La huella humana muestra la relación esperada con la diversidad en Parita, pero no en la Bahía de Panamá. Esta discrepancia podría deberse al poder estadístico o a un efecto de ecotono en el borde occidental de la bahía, que difiere significativamente de los otros sitios muestreados.
- Se observó un IAA más alto en los manglares ribereños en comparación con los manglares marinos. Esto puede estar relacionado con la mayor complejidad estructural y composicional de los manglares ribereños.
- Las diferencias en las especies detectadas en cada sitio podría deberse a diferencias en la detectabilidad, como la propagación del sonido o el ruido de fondo, lo que requiere muestras más grandes para un análisis más claro.
- El protocolo de validación de un audio por día de muestreo por grabador es eficiente para desarrollar modelos de ocupación.
- La validación de 100 grabaciones de audio por especie en cada sitio ayuda a establecer historias de detección específicas, lo que lo hace más efectivo para los estudios enfocados en analizar los recuentos diarios de detección.



Taller de capacitación sobre métodos de monitoreo acústico pasivo con autoridades ambientales panameñas, organizaciones sin fines de lucro y académicos.

## Conclusiones

El estudio logró aumentar el conocimiento básico de las aves en las bahías de Panamá y Parita, y establecer una metodología replicable para el monitoreo de aves de bajo costo que puede implementarse en otras aplicaciones.

La monitorización acústica pasiva demostró ser un método eficaz y no invasivo para estudiar la biodiversidad en zonas remotas y de difícil acceso. La integración de unidades de registro autónomas con técnicos de campo expertos tiene el potencial de mejorar en gran medida el alcance y la escala de los estudios de biodiversidad en estos ecosistemas y otros similares. En el futuro, tamaños de muestra más grandes y una gama más amplia de variables de hábitat en los puntos de estudio podrían mejorar la capacidad de estudios como este para evaluar con mayor precisión las relaciones entre las comunidades de aves y las características del hábitat.



Chipe charquero.

Los resultados indican que la relación entre la abundancia de aves y las variables del hábitat, incluido el carbono, es compleja en este ecosistema. Los hallazgos revelan que las variables del hábitat como el carbono, la biomasa, el tipo de manglar y las propiedades del suelo influyen de manera diferente en las especies de aves, y la mayoría de las variables muestran correlaciones positivas y negativas entre las diferentes especies. Los análisis futuros podrían centrarse en especies o grupos de especies específicas que muestran respuestas significativas a variables particulares del hábitat.

Es poco probable que la abundancia y diversidad de aves respondan directamente a muchas de las variables del hábitat medidas en este estudio (por ejemplo, carbono total, NDVI, propiedades del suelo). En cambio, es más probable que estén influenciados indirectamente por factores como la estructura del bosque o el dosel, la disponibilidad de sitios de anidación y alimento.





Instalación en campo de AudioMoths.

Jorge Velásquez / National Audubon Society

Julio Montes de Oca  
Director de Resiliencia Costera  
Audubon Américas  
[julio.montesdeoca@audubon.org](mailto:julio.montesdeoca@audubon.org)

Rosabel Miró  
Directora Ejecutiva  
Sociedad Audubon de Panamá  
[dir\\_ejecutiva@audubonpanama.org](mailto:dir_ejecutiva@audubonpanama.org)

Esperanza González  
Especialista Senior de Cambio Climático y Sostenibilidad  
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)  
[rosago@iadb.org](mailto:rosago@iadb.org)