UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

TESIS

DIVERSIDAD DE AVES MEDIANTE MONITOREO ACÚSTICO EN TRES TIPOS DE BOSQUE EN LA RESERVA DE BIÓSFERA DEL MANU - 2019

PRESENTADA POR:

Br. GARY SHEIRO LUZA HERRERA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE BIOLOGO

ASESORA:

Maestra. MARY NORMA JARA MOSCOSO

CODIGO ORCID: 0000-0001-5302-4143

CUSCO – PERU

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** MAESTRA. MARY NORMA JARA MOSCOSO quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesistitulada: DIVERSIDAD DE AVES MEDIANTE MONITOREO ACÚSTICO EN TRES TIPOS DE BOSQUE EN LA RESERVA DE BIÓSFERA DEL MANU - 2019

Presentado por: Br. GARY SHEIRO LUZA HERRERA DNI N° 46259855;

presentado por: ..... DNI N°: .....

Para optar el título Profesional/Grado Académico de BIOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 28 de septiembre de 2026

Firma

Post firma MARY NORMA JARA MOSCOSO

Nro. de DNI 23874682

ORCID del Asesor 0000-0001-5302-4143

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:629325561

Sheiro Luza

TESIS_GSLH_SEPTIEMBRE.pdf

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:629325561

Fecha de entrega
24 sep 2026, 3:36 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
24 sep 2026, 4:41 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS_GSLH_SEPTIEMBRE.pdf

Tamaño del archivo
3.3 MB

88 páginas

15.976 palabras

97.995 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

7% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios, el Gran Misterio y Gran Espíritu, a mis montañas y a mi tierra que me acompañan desde el día que nací, los siento cada día en cada paso que doy, en cada nuevo lugar al que voy, en cada amanecer y atardecer que veo, muchas gracias.

A mis cuatro abuelos Luciano, Natividad, Valentin y Cleofe por haberme dado a mis padres, a mis padres Dimas y Martha por darme la vida y a mis hermanos Luis, Rainer, Sury y Irvin por tanto amor, respeto, hermandad, juego, risa, travesura, apoyo, consejos y tantos maravillosos momentos compartidos.

A mi amado sobrino Joaquin por enseñarme la perseverancia y tanto a su corta edad.

Atte. Gary Sheiro Luza Herrera

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, en especial a nuestra Escuela Profesional de Biología.

A la Fundación CREES Manu Learnig Centre que financió la fase de campo de este estudio.

Al Lic. Carlos Arévalo Coba gerente responsable en Programas Crees Foundation, quien apoyó en las coordinaciones logísticas del presente estudio.

Igualmente agradezco al Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

A mi asesora la Maestro. Norma Jara Moscoso que apoyo la realización de esta investigación.

A mi Co-asesora Amanda Delgado por todas las enseñanzas, apoyo, asesoramiento, paciencia y amistad durante el presente trabajo de investigación

Al equipo de trabajo Sergio, Lula, Jacqueline, por toda la aventura durante el trabajo de campo

Al guardaparques Edgar y a la comunidad Machiguenga de la cuenca del rio Piñi Piñi por su compañía y guía durante los días de instalación dentro del Parque Nacional del Manu

A la Dra. María Holgado por sus ánimos a la realización de este estudio

A mis compañeros y maestros por todos los aprendizajes en los años universitarios Gracias también a mi prima Yoanne y a toda mi familia por todo el ánimo; a mi amiga Ruro y al equipo Ruruchay por este tiempo compartido.

Gracias.

INDICE

DEDICATORIA i

AGRADECIMIENTOS ii

INDICE iii

RESUMEN ix

INTRODUCCION 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

JUSTIFICACIÓN 5

OBJETIVOS 6

OBJETIVO GENERAL *6*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS *6*

VARIABLES 7

CAPITULO I 8

MARCO TEORICO 8

1.1. ANTECEDENTES *8*

1.1.1. Internacionales: 8

1.1.2. Nacionales: 10

1.1.3. Locales: 10

1.2. FUNDAMENTOS TEORICOS *12*

1.2.1. Las aves 12

1.2.2. Importancia ecológica de las aves 13

1.2.3. Diversidad de aves en el Perú 14

1.2.4. Estado de conservación de las aves en el Perú. 14

1.2.5. Monitoreo acústico como herramienta en el estudio de diversidad 15

1.2.6. Reserva de Biosfera del Manu: aves y conservación 19

CAPITULO II 21

AREA DE ESTUDIO 21

2.1. Ubicación *21*

2.2. Accesibilidad *22*

2.3. Clima *22*

2.4. Ecología *23*

2.5. Vegetación y fauna *24*

2.6. Caracterización de los tres tipos de bosque identificados para el área de estudio *24*

2.6.1. Bosque intervenido: Águanos (AGU) 24

2.6.2. Bosque manejado: Estación de investigación Manu Learning Centre (MLC) 25

2.6.3 Bosque primario conservado: Cuenca del rio Piñi Piñi (PNM) 26

CAPITULO III 28

MATERIALES Y METODOS 28

3.1. MATERIALES *28*

3.1.1 Material biológico 28

3.1.2 Material de campo 28

3.1.3 Equipos 28

3.1.4 Software 28

3.1.5 Bases de datos 28

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN *29*

3.3. INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS *29*

3.4. FASE DE GABINETE *30*

3.5. METODOLOGIA *31*

3.5.1. Determinación de la riqueza de especies 31

3.5.2. Diversidad Beta 33

3.5.3. Actividad Acústica 34

3.5.4. Índice Normalizado del Paisaje Sonoro (NDSI) 36

CAPITULO IV 37

RESULTADOS Y DISCUSION 37

4.1. RIQUEZA DE AVES EN TRES TIPOS DE BOSQUE EN LA RESERVA DE BIOSFERA DEL MANU *37*

4.1.1. Riqueza de especies por día 39

4.1.2. Curva de acumulación de especies 40

4.1.3. Especies incluidas en algún estado de conservación y regulación según la UICN, la legislación nacional y CITES 41

4.2. DIVERSIDAD BETA, INDICE DE JACCARD *43*

4.3. ACTIVIDAD ACÚSTICA DE LAS AVES EN TRES TIPOS DE BOSQUE EN LA RESERVA DE BIOSFERA DEL MANU *46*

4.3.1. Actividad acústica en grabaciones positivas en los tres tipos de bosque 47

4.3.2. Frecuencia de ocurrencia y número de detecciones por especie 49

4.4 ÍNDICE DE PAISAJE SONORO DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDSI) *51*

4.4.1 Variación del Paisaje Sonoro en los tres tipos de bosque durante los tres meses de evaluación 53

4.5. DISCUSION *55*

CONCLUSIONES 59

RECOMENDACIONES 61

BIBLIOGRAFIA 62

ANEXOS 66

TABLAS

Tabla 1 *Tabla de operacionalización de variables* 7

Tabla 2 *Especies de aves identificadas por BirdNET y verificación manual* 38

Tabla 3 *Especies incluidas en algún estado de conservación y regulación según la UICN, la legislación nacional y CITES* 42

Tabla 4 *Similaridad en la composición y diversidad beta en los tres tipos de bosque* 43

Tabla 5 *Numero de grabaciones y detecciones de aves en los tres tipos de bosque evaluados.* 46

Tabla 6 *Actividad acústica en las grabaciones positivas en los tres tipos de bosque* 48

Tabla 7 *Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI) en los tres tipos de bosque.* 51

Tabla 8 *Comparaciones post hoc de Dunn con corrección de Holm* 53

FIGURAS

Figura 1 *Anatomía de un ave* 12

Figura 2 *Descripción básica de cómo funciona BirdNET* 18

Figura 3 *Ara macao en vuelo.* 20

Figura 4 *Mapa de ubicación del área de estudio* 21

Figura 5 *Climatodiagrama Estacion - Salvación* 22

Figura 6 *Mapa de ubicación de los tres tipos de bosque evaluados dentro de la Reserva de Biosfera del Manu.* 27

Figura 7 *Instalación de equipos Audiomoth en el Bosque Intervenido* 30

Figura 8. *Espectrograma con detecciones de diferentes especies* 32

Figura 9 *Riqueza de especies por tipo de bosque.* 38

Figura 10 *Variación mensual de la riqueza de especies por tipo de bosque* 39

Figura 11 *Acumulación de especies durante el periodo de muestreo* 40

Figura 12 *Dendrograma de similitud entre los tres tipos de bosque* 44

Figura 13 *Número de especies compartidas entre los tres tipos de bosque evaluados* 45

Figura 14 *Porcentaje de grabaciones con detecciones de aves en los tres tipos de bosque* 47

Figura 15 *Distribución del número de detecciones de aves por grabación positiva en tres tipos de Bosque en la Reserva de Biosfera del Manu.* 49

Figura 16 50

Figura 17 *Distribución de los valores del Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI) en los tres tipos de bosque* 52

Figura 18 *Variación mensual de la frecuencia de grabaciones con detecciones de aves en los tres tipos de bosque.* 54

ANEXOS

Anexo 1. Autorización el ingreso al Parque Nacional del Manu 66

Anexo 2. Listado general de las especies encontradas en tres tipos de bosque en la Reserva de Biosfera del Manu 69

Anexo 3. Paneles fotográficos de los tres tipos de bosque en la Reserva de Biosfera del Manu..... 77

RESUMEN

En la Reserva de Biosfera del Manu, Cusco–Madre de Dios, entre los 380 y 740 m de altitud, se evaluó la diversidad de aves en tres tipos de bosque: intervenido (AGU), manejado (MLC) y primario conservado (PNM), de agosto a octubre de 2019, mediante monitoreo acústico con grabadoras autónomas AudioMoth). Se determinó la actividad acústica, la diversidad beta y la variación de la biofonia y antropofonia. Se analizaron 12,954 grabaciones acústicas (215.9 horas). Para la determinación de especies se utilizaron BirdNET con un nivel de confianza ≥ 0.5, Arbimon y Xeno-canto. Se registraron 207 especies de aves, distribuidas en 20 órdenes y 47 familias. El bosque primario presentó la mayor riqueza de especies (134), seguido por el bosque manejado (122) y el bosque intervenido (104). Los tres bosques compartieron 53 especies y registraron 50, 30 y 27especies exclusivas en PNM, MLC y AGU, respectivamente. El índice de Jaccard mostró una mayor similitud entre AGU-MLC (0.458), mientras que entre MLC-PNM (0.430) y AGU-PNM (0.322) evidenciaron una menor similitud en la composición de las comunidades. La actividad acústica no presentó diferencias significativas entre los tres tipos de bosque ($H = 0.49$; $p = 0.783$). El NDSI presentó valores más altos en el bosque primario, seguido por el bosque intervenido y el bosque manejado. Los resultados mostraron diferencias en la diversidad de aves y el paisaje sonoro entre los tres tipos de bosque, mostrando la importancia de conservar estos ambientes para mantener la biodiversidad de la Reserva.

PALABRAS CLAVES: Diversidad de aves, Monitoreo acústico, BirdNET, Reserva de biósfera del Manu,

INTRODUCCION

Los estudios de diversidad son de gran importancia en las comunidades biológicas porque son utilizados para entender su distribución y presencia, son útiles para evaluar cambios notables y las respuestas a las perturbaciones, esto con el fin de establecer planteamientos de conservación (Magurran, 1988). Las aves son uno de los grupos más abundantes y diversos en el Neotrópico es por ello que existe mucha información para su identificación; presentan una alta especificidad a los hábitat y ecosistemas que ocupan, utilizan y aprovechan al máximo el sonido para intercambiar información como advertencia de peligro, cortejo, defensa de territorio y también emiten sonidos accidentalmente al moverse o alimentarse (Browning et al. 2017).

El monitoreo acústico pasivo, apoyado por el desarrollo de tecnologías y modelos de identificación automática como BirdNET, ha revolucionado la manera de estudiar la diversidad de aves (Kahl et al. 2021). Estas nuevas herramientas proporcionan de forma rápida información como la biodiversidad a partir de la actividad acústica de una comunidad biológica en un ecosistema en cualquier tipo de hábitat para compararla y estudiarla a lo largo del tiempo (Depraetere et al. 2012), permiten también recolectar datos de hasta 3 meses a bajo costo. Sin embargo, los resultados dependen tanto de la calidad de los datos recolectados como del contexto ecológico y antrópico en que se desarrollan las grabaciones.

La Reserva de Biosfera del Manu, localizada en las regiones de Cusco y Madre de Dios, alberga en su territorio una gran variedad de ecosistemas y hábitats. En su zona núcleo resguarda al Parque Nacional del Manu que conforma uno de los lugares más importantes del planeta por la biodiversidad que alberga (UNESCO, 1987). Los cambios globales están alterando fuertemente estos ecosistemas y provocando impactos importantes en las comunidades ecológicas (Newbold et al. 2016). Por lo que es necesario aprovechar las nuevas

tecnologías que permiten analizar gran cantidad de datos y nos muestra nuevas alternativas para medir y/o monitorear la diversidad de forma menos invasiva.

Este trabajo de investigación tiene el objetivo de determinar la diversidad de aves en tres tipos de bosque dentro de la reserva de Biosfera del Manu mediante monitoreo acústico, los resultados obtenidos podrán ser utilizados para implementar un plan de monitoreo permanente de bajo costo para el manejo y conservación de estos ecosistemas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las aves forman uno de los grupos más abundantes y diversos en el Neotrópico, el Perú ocupa el segundo lugar a nivel mundial en relación con la diversidad ornitológica con más de 1897 especies registradas según la “South American Classification Committee” y 1915 especies según la lista actualizada de especies de aves de Perú (Plenge M. A., 2024), de las cuales 189 se encuentran en alguna categoría de protección según el Estado Peruano y entre 170 y 200 según la IUCN (2025). En la Reserva de Biosfera del Manu se han registrado al menos 1025 especies de aves (SERNANP. 2023)

La Reserva de Biosfera del Manu enfrenta diversas presiones antrópicas relacionadas principalmente con la expansión de la agricultura, la tala y la extracción de recursos naturales, así como con el desarrollo de infraestructura vial. La construcción y expansión de carreteras ha facilitado el acceso a sectores antes aislados de la reserva, favoreciendo cambios en el uso del suelo y un mayor riesgo de deforestación y aprovechamiento de los recursos naturales (Gallice et al., 2019; Serrano-Rojas et al., 2022). Estas actividades son especialmente relevantes en las zonas de amortiguamiento, donde coexisten bosques con diferentes intensidades de manejo e intervención.

En este contexto, evaluar la diversidad de aves en tres tipos de bosque permite conocer cómo varían la riqueza y la composición de sus comunidades en ambientes con distinto grado de intervención. Esta información contribuye a comprender los patrones de respuesta de la avifauna frente a los cambios del hábitat y aporta evidencia útil para orientar estrategias de conservación y manejo sostenible en la Reserva de Biosfera del Manu.

Ante esta problemática surgen las siguientes preguntas:

¿Cuál es la diversidad de aves registrada mediante monitoreo acústico en tres tipos de bosque dentro de la Reserva de Biosfera del Manu, ubicada entre Cusco y Madre de Dios?

- ¿Cuál es la riqueza de aves en los tres tipos de bosque evaluados en la Reserva de Biosfera del Manu?
- ¿Cuál es la similitud en la composición de aves en tres tipos de bosques en la Reserva de Biosfera del Manu?
- ¿Existen diferencias entre la actividad acústica de las aves en tres tipos de bosque en la Reserva de Biosfera del Manu?
- ¿Cómo varían la biofonia y antropofonia en tres tipos bosques en la Reserva de Biosfera del Manu?

JUSTIFICACIÓN

La Reserva de Biosfera del Manu es un área designada que combina la conservación del medio ambiente y el desarrollo humano sostenible, presenta valores biológicos importantes y los ecosistemas contenidos en los mismos brindan a la sociedad diferentes servicios ambientales (UNESCO, 1987). La diversidad biológica presente en esta área en ocasiones se ve afectada por factores externos como el cambio climático, cambio de uso de suelo, deforestación y prácticas como la agricultura migratoria.

Las aves desempeñan un papel importante en los ecosistemas y son excelentes bioindicadores porque ocupan distintos niveles tróficos, tienen una amplia distribución y presentan gran sensibilidad a cambios ambientales (Parra, 2014). Además, son el grupo que mejor se conoce a nivel mundial en cuanto a identificación acústica, sus vocalizaciones permiten realizar inventarios de diversidad de formas más eficiente que métodos tradicionales (Márquez et al. 2011; Robinson et al. 1997).

El desarrollo de nuevas tecnologías como el monitoreo acústico automatizado ofrece nuevas alternativas para estudiar comunidades de aves en ambientes tropicales complejos, de forma menos invasiva obteniendo resultados más aproximados a la realidad. Herramientas como BirdNET-Lite, Arbimon y Xeno cantos permiten identificar especies a partir de grabaciones de audio, procesando grandes cantidades de datos con eficacia en un mínimo de tiempo.

Este estudio busca determinar la diversidad de aves en tres tipos de bosque dentro de la Reserva de Biosfera del Manu, durante tres meses a través de monitoreo acústico, La información que se genere permitirá comprender la distribución de la avifauna en relación al tipo de bosque, el grado de conservación y/o intervención antrópica, y es importante para fortalecer los planes de manejo de la reserva.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la diversidad de aves mediante monitoreo acústico en tres tipos de bosque en la Reserva de Biosfera del Manu, Cusco-Madre de Dios.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la riqueza de aves en tres tipos de bosque evaluados de la Reserva de Biosfera del Manu, Cusco-Madre de Dios.
- Determinar la diversidad beta en tres tipos de bosques en la Reserva de Biosfera del Manu, Cusco-Madre de Dios.
- Estimar y comparar la actividad acústica de las aves en tres tipos de bosque de la Reserva de Biosfera del Manu, Cusco-Madre de Dios.
- Comparar la biofonía y la antropofonía entre los tres tipos de bosque mediante el índice NDSI en la Reserva de Biosfera del Manu, Cusco-Madre de Dios.

VARIABLES

Tabla 1

Tabla de operacionalización de variables

Variable	Tipo	Definición operacional	Indicador	Instrumento
Tipo de bosque	Independiente	Tipos de bosque identificados para el área de estudio	**AGU, MLC PNM**	**Ficha de campo y coordenadas**
Riqueza de aves	Dependiente	Número de especies registradas mediante monitoreo acústico	Número de especies	AudioMoth BirdNET validación manual
Actividad acústica	Dependiente	Número de detecciones de aves por grabación	Número de detecciones por grabación	BirdNET
Diversidad beta	Dependiente	Diferencia en la composición de especies entre sitios	Índice de Jaccard	Matriz de presencia-ausencia
NDSI	Dependiente	Relación entre la energía acústica de la biofonía y la antropofonía	Valor del NDSI (-1 a +1)	Python (librosa y NumPy)

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Internacionales:

Hill et al. (2017). Evalúan el dispositivo acústico AudioMoth para realizar el monitoreo de la biodiversidad y el medio ambiente, demostrando su potencial para mejorar enormemente el espacio y la cobertura temporal de inventarios para registrar la presencia de animales crípticos. Igualmente, determinaron que estos dispositivos son más eficientes que otros dispositivos de monitoreo acústico pasivo, en cuanto al uso de baterías, ya que pueden realizar grabaciones continuas por más tiempo. Lo cual muestra su potencial para aplicaciones variadas en estudios acústicos a gran escala y a largo plazo.

Darras, et al, (2019). Comparan la eficacia de dos métodos de muestreo: Puntos de Conteo y estudios de grabación autónoma. Resuelven que la grabación sonora autónoma demuestra ser una herramienta potente. Esta tecnología permite monitorear aves de forma exhaustiva, estandarizada y verificable. Además, las grabadoras de sonido permiten acceder a paisajes sonoros completos, de los cuales se pueden derivar nuevos tipos de datos (actividad acústica, índices acústicos). Finalmente, las grabadoras de sonido autónomas permiten realizar investigaciones con alta resolución y cobertura temporal y espacial, lo cual resulta más rentable y no siempre puede lograrse únicamente mediante observaciones con evaluadores humanos. Las grabadoras de sonido se pueden implementar en diversos lugares, son más adaptables y fiables, lo que las convierte en la mejor opción para el estudio de aves en una era cada vez más basada en datos.

Arif et al. (2020). Evaluaron la precisión de BirdNET utilizando 205 grabaciones, en las cuales BirdNET realizó un total de 225 detecciones. Los resultados mostraron que la precisión general de BirdNET fue del 91,5 % para cantos de aves con los que el sistema estaba familiarizado, mientras que esta precisión disminuyó para cantos de especies menos conocidas por la herramienta. En total, se identificaron 23 especies de aves diferentes, tanto mediante BirdNET como a través de la identificación manual. En general, BirdNET tuvo una tasa de precisión del 91.5% a partir de las 189 grabaciones que se identificaron con revisión manual.

Bota et al. (2023). Evalúan la efectividad de BirdNET, el impacto del umbral de confianza y patrones de actividad acústica para 2 especies en la Comunidad Foral de Navarra al Norte de España. Resuelven que la precisión de BirdNET fue alta en la detección de *Peripatus ate*r y *Certhia brachydactyla*, con valores medios del 92,6 % y el 87,8 %, respectivamente.el nivel mínimo de confianza para considerar solo las detecciones con una probabilidad de identificación correcta del 95 % fue de 0,247 para *Peripatu*s *ate*r y de 0,335 para *Certhia brachydactyla.*, el número de falsos positivos para ambas especies disminuyó de 1 a 0 al utilizar el índice de confianza óptimo.

Ross et al (2023). Realizaron una revisión sobre las aplicaciones del monitoreo acústico pasivo en ambientes terrestres y acuáticos, destacando su utilidad para evaluar la biodiversidad, las tendencias poblacionales y las respuestas de las comunidades frente a perturbaciones ambientales. Asimismo, señalaron las limitaciones de los registros acústicos para realizar inferencias directas sobre la abundancia de individuos.

1.1.2. Nacionales:

Valdiviezo Herrera, (2019). Evaluó como varia el paisaje sonoro y morfoespecies en un gradiente de perturbación antrópica dentro de la comunidad nativa de Chirikyacu, San Martín-Perú. Utilizó 27 grabadoras Audiomoth y determinó el Índice de paisaje sonoro de diferencia normalizada (NDSI) y el Índice de Diversidad Acústica (ADI) y Halló que el el Índice de Diversidad Acústica (ADI) mostró un promedio 2.233 mientras que el Índice de paisaje sonoro de diferencia normalizada (NDSI) obtuvo 0.604, lo que indicaría una alta perturbación antrópica. Determina 296 morfoespecies de aves.

Stevens, et al. (2019). Realizan un inventario rápido de aves en bosques de arena blanca en la Reserva Alpahuayo Mishana ubicado en la Amazonía peruana. Utilizan grabadoras de audio autónomas y puntos de conteo. Detectaron un total de 126 especies de aves, de las cuales 21 fueron especialistas y concluyeron que se detectaron mas especies en los puntos realizados con grabadoras autónomas que en los puntos de conteo tradicionales.

1.1.3. Locales:

Álvarez-Berríos et al. (2016) evaluaron el impacto de la minería de oro artesanal en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata, Perú. Utilizaron siete grabadoras acústicas (tres cerca de una mina en actividad, dos en una mina en abandono y dos en un bosque adyacente), recopilaron un total de 2900 grabaciones y registraron 56 especies de aves. Encontraron que la riqueza general de especies fue similar entre el bosque adyacente (28 especies), la mina en abandono (25 especies) y la mina en actividad (24 especies); sin embargo, observaron que la riqueza de aves sensibles a la perturbación fue significativamente menor en la mina en actividad. Con base en ello, sugieren que el monitoreo y el análisis

acústico constituyen herramientas eficaces para evaluar el impacto de las actividades antrópicas sobre la fauna vocalmente activa.

Whitworth et al. (2018) evaluaron la biodiversidad en Manu Learnig Centre ubicado dentro de la Reserva de Biosfera del Manu entre octubre de 2011 y octubre de 2013, las evaluaciones se realizaron en diversas épocas del año, en temporada de lluvias y en secas, registraron un total de 226 especies de aves.

Campos Cerqueira et al. (2019) evaluaron la composición y variabilidad de los paisajes sonoros en Tahuamanu, Madre de Dios, durante un mes. Mediante un análisis de ordenación, demostraron que existían diferencias importantes entre los tipos de bosque evaluados. Asimismo, al identificar 226 especies de aves, concluyeron que los bosques en recuperación pueden mantener niveles de biodiversidad de fauna similares a los de los bosques primarios no perturbados.

Hopping, et al. (2023). Cuantifican la variación de actividad acústica en aves y la riqueza de especies a través de unidades de grabación autónomas en una reserva amazónica en Madre de Dios, Perú, evalúan seis microhábitats, encuentran una variación significativa en los niveles de actividad acústica de las aves y en la riqueza de especies, los efectos de tiempo presentan un valor mayor en la actividad acústica respecto a la riqueza de especies, y que los patrones de actividad en el día varían entre especies. En toda su evaluación determinaron 127 especies.

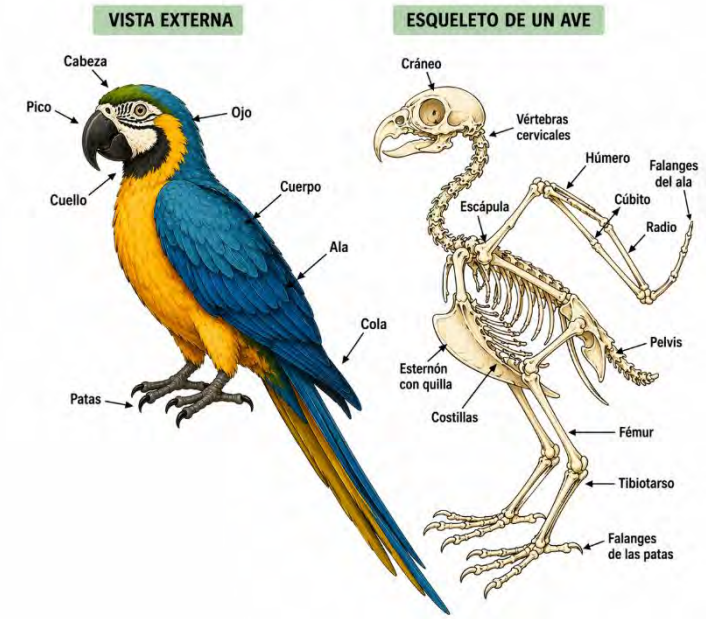
1.2. FUNDAMENTOS TEORICOS

1.2.1. Las aves

Las aves son vertebrados tetrápodos de sangre caliente que se desplazan caminando, saltando o apoyándose únicamente en sus extremidades posteriores, mientras que las anteriores se han transformado en alas, una adaptación clave para el vuelo, aunque no todas las especies son voladoras. Su cuerpo está recubierto de plumas y poseen un pico córneo sin dientes. Son animales ovíparos, se reproducen mediante la puesta de huevos que incuban hasta la eclosión.

Figura 1

Anatomía de un ave



*Nota***:** Adaptado de Proctor y Lynch (1993)

Evolutivamente, las aves descienden de dinosaurios carnívoros bípedos del período Jurásico, hace entre 150 y 200 millones de años. A lo largo del tiempo, su diversificación ha dado origen a más de 10 500 especies en la actualidad, distribuidas en todos los biomas del planeta. Su tamaño varía desde los diminutos entre 5 y 6 cm del colibrí zunzuncito (*Mellisuga helenae*) hasta los 2,8 m del avestruz (*Struthio camelus*). Las aves presentan una amplia

variedad de comportamientos, por ejemplo, estrategias complejas de anidación, alimentación de crías, migraciones, cortejos y vida en bandadas. Su comunicación es diversa y puede incluir señales visuales, llamadas y cantos. Algunas especies son capaces de emitir una gran variedad de sonidos y se destacan por su inteligencia y la transmisión cultural de conocimientos entre generaciones.

Desde tiempos ancestrales, el ser humano ha mantenido una estrecha relación con las aves, en la alimentación, la elaboración de herramientas, la ornamentación y la textilería. En términos ecológicos, las aves pueden ser generalistas o especialistas, dependiendo de su hábitat o dieta. Ocupan distintos nichos ecológicos: algunas se alimentan en el dosel de los árboles, otras en niveles intermedios del bosque y algunas en el suelo del bosque (Clements, 2011).

1.2.2. Importancia ecológica de las aves

Las aves tienen una gran importancia debido a las diferentes funciones ecológicas que cumplen: la polinización y la dispersión de semillas, de los cuales depende gran parte de la regeneración de las plantas. Asimismo, influyen en la estructura y composición biológica de los ecosistemas que sustentan la vida y de los que dependemos todos en el planeta (Van Schaik et al. 1993). Además, la presencia y abundancia de las aves está estrechamente vinculada a la calidad de sus hábitats. Muchas especies son altamente sensibles a las alteraciones ambientales, incluso a los pequeños cambios, lo que las convierte en excelentes bioindicadores de perturbación y de la salud de los ecosistemas (Sekercioglu et al. 2004).

1.2.3. Diversidad de aves en el Perú

Las aves forman uno de los grupos de fauna más diversos del mundo, especialmente en el Neotrópico. El Perú es uno de los países con más riqueza de aves, ocupa el segundo lugar a nivel mundial en relación con la diversidad ornitológica con más de 1879 especies agrupadas en 88 familias y 40 órdenes a pesar de que los registros aún no están completos (Plenge M. A., 2024). Entre las aves más representativas del Peru están El Gallito de las Rocas (*Rupicola peruavianus*), el Colibri Cola Espatula *(Loddigesia mirabilis)*, la Pava Aliblanca (*Penelope albipennis*), el Cortarrama peruana *(Phytotoma raimondii)* y el Condor Andino *(Vultur Griphus)*. La clasificación y nomenclatura de las especies de aves son continuamente revisados, esto afectaría el número de especies reconocidas dentro de Perú, el número de familias a las que pertenecen varios géneros y su secuencia. (Schulenberg, 2010)

1.2.4. Estado de conservación de las aves en el Perú.

Según la lista roja de la IUCN (2025) Perú tiene 122 especies amenazas, 8 "En Peligro Crítico " (CR), 33 "En Peligro " (EN) y 81 "Vulnerables " (VU) (BirdLife International, 2014). En la lista roja nacional establecida por el Estado Peruano un total de 189 especies están amenazadas 15 en "En Peligro Crítico" (CR), 29 "En Peligro" (EN), 77 "Vulnerables" (VU) y 68 "Casi Amenazada" (SERFOR, 2018). 296 especies de aves se encuentran en alguno de los Apéndices de la CITES: 10 en el Apéndice I, 280 en el Apéndice II y 6 en el Apéndice III, lo que regula su comercio internacional y promueve su conservación (CITES, 2024). Asimismo, 138 especies migratorias que transitan el territorio peruano están protegidas bajo la Convención sobre Especies Migratorias, (CMS, 2024).

Las principales amenazas que enfrentan las aves son: de forma directa la cacería para la supervivencia y la captura para el tráfico de mascotas, de forma indirecta la captura en las practicas d pesca y la destrucción de hábitats por diferentes factores como la expansión agrícola, la deforestación, la minería, la extracción petrolera y otros cambios de uso del suelo

(Newbold, et al, 2016). Perú es el segundo país a nivel mundial y neotropical en cuanto al mayor número de aves de distribución restringida (117) (Stattersfield, et al. 1998)

1.2.5. Monitoreo acústico como herramienta en el estudio de diversidad

1.2.5.1. Monitoreo

El monitoreo es una herramienta fundamental en los estudios ambientales y biológicos, ya que permite conocer cómo cambian los ecosistemas a lo largo del tiempo. Consiste en la observación y registro sistemático de variables de interés con el fin de identificar tendencias, variaciones o posibles impactos asociados a procesos naturales o actividades humanas.

En estudios de biodiversidad, el monitoreo permite obtener información sobre la presencia, abundancia y distribución de las especies, contribuyendo a la evaluación del estado de conservación de los ecosistemas. Además, facilita la comparación de condiciones ambientales entre diferentes periodos o áreas de estudio, proporcionando información útil para la toma de decisiones y el manejo de los recursos naturales (Lindenmayer & Likens, 2010)

1.2.5.2. Acústica

La acústica es la rama de la física que estudia el sonido, desde su generación hasta su propagación y percepción. El sonido se origina por vibraciones que se transmiten en forma de ondas a través de un medio como el aire, el agua o los sólidos.

El conocimiento de las propiedades del sonido ha permitido desarrollar diversas aplicaciones científicas y tecnológicas. En el ámbito ecológico, la acústica constituye la base para el estudio y monitoreo de organismos que producen señales sonoras, como aves, anfibios e insectos, permitiendo registrar y analizar sus vocalizaciones de manera eficiente (Rossing, 2007)

1.2.5.3. Bioacústica

La bioacústica es una disciplina que combina principios de la biología y la acústica para estudiar los sonidos producidos por los seres vivos. Su objetivo es comprender cómo los organismos generan, utilizan y responden a las señales acústicas en diferentes contextos ecológicos y comportamentales.

En las aves, las vocalizaciones cumplen funciones importantes relacionadas con la comunicación, la defensa del territorio, la búsqueda de pareja y el reconocimiento entre individuos. Debido a que muchas especies poseen cantos y llamados característicos, la bioacústica se ha convertido en una herramienta valiosa para su identificación y estudio, contribuyendo significativamente a la investigación y conservación de la biodiversidad (Bradbury & Vehrencamp, 2011)

1.2.5.4. Monitoreo acústico pasivo

El monitoreo acústico pasivo es una metodología que utiliza grabadoras autónomas para registrar los sonidos presentes en un ambiente durante periodos prolongados de tiempo. A diferencia de los métodos tradicionales basados en observaciones directas, esta técnica permite recopilar información de manera continua sin que sea necesaria la presencia permanente de un investigador en campo. Durante los últimos años, el monitoreo acústico pasivo se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada para el estudio de la biodiversidad. El desarrollo de grabadoras digitales con mayor capacidad de almacenamiento y autonomía ha facilitado la obtención de grandes cantidades de información sonora en diferentes ecosistemas.

Entre sus principales ventajas destaca la posibilidad de monitorear varios sitios simultáneamente, registrar información durante largos periodos y detectar especies que pueden pasar desapercibidas durante los censos visuales. Además, las grabaciones obtenidas

pueden almacenarse y revisarse posteriormente, permitiendo verificar resultados y realizar nuevos análisis cuando sea necesario. Gracias a estas características, esta metodología es cada vez más utilizada en estudios ecológicos y programas de conservación de la biodiversidad (Sugai et al. 2020)

1.2.5.5. Monitoreo acústico de aves

Las aves son uno de los grupos de organismos más estudiados mediante monitoreo acústico debido a que utilizan frecuentemente vocalizaciones para comunicarse. Sus cantos y llamados cumplen funciones relacionadas con la defensa del territorio, la búsqueda de pareja, el reconocimiento entre individuos y otras actividades esenciales para su supervivencia.

El monitoreo acústico pasivo ha surgido como una herramienta poderosa para el estudio de la biodiversidad, su uso en estudios de aves comenzó a popularizarse a finales del siglo XX, facilita la detección y análisis de especies a partir de sus vocalizaciones (Depraetere et al. 2012). Esta metodología permite obtener registros extensos y continuos, que supera mas no reemplaza las limitaciones del muestreo visual y la dependencia de expertos en campo, los estudios acústicos dependían de grabaciones analógicas y la identificación manual de vocalizaciones (Blumstein, et al. 2011)

1.2.5.6. BirdNET como herramienta de análisis acústico

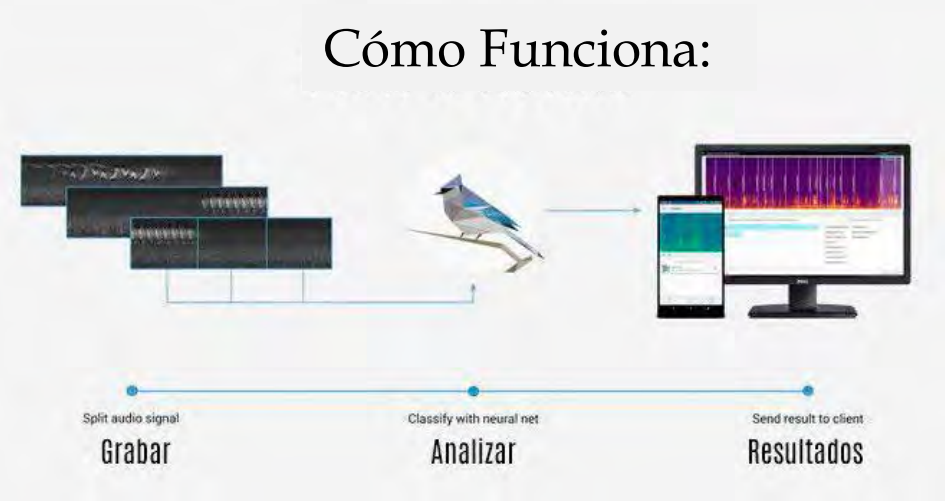
El desarrollo tecnológico ha impulsado nuevas metodologías para el estudio de la biodiversidad, **BirdNET** es una herramienta desarrollada por la Universidad Cornell y el Instituto Fraunhofer que durante los últimos años ha permitido automatizar la identificación de especies a partir de grabaciones de audio utilizando algoritmos de aprendizaje profundo entrenados con millones de grabaciones de aves procedentes de distintas regiones del mundo.

Los trabajos iniciales aplicaron redes neuronales convolucionales (CNN) para la clasificación automática de vocalizaciones de aves, demostrando un gran potencial en el monitoreo acústico (Kahl et al. 2018). Posteriormente, diversos estudios evaluaron y optimizaron el desempeño de estos modelos. Finalmente, Kahl et al. (2021) presentaron oficialmente la plataforma

Durante el análisis, BirdNET compara las vocalizaciones registradas con los patrones almacenados en su base de datos y asigna un nivel de confianza a cada identificación. Esto permite procesar grandes cantidades de grabaciones en un tiempo considerablemente menor al que requeriría una revisión manual. (Figura 2). Sin embargo, la confiabilidad de las identificaciones podría variar según el entorno acústico, la calidad de las grabaciones y el umbral de confianza utilizado, por lo que es recomendable combinar el análisis automatizado con revisiones manuales (Stowell, et al, 2019).

Figura 2

Descripción básica de cómo funciona BirdNET



Nota: extraído de https://birdnet.cornell.edu/

1.2.5.7. Paisaje sonoro

El paisaje sonoro se refiere al conjunto de sonidos presentes en un ambiente determinado y a la forma en que estos interactúan entre sí. En un ecosistema, el paisaje sonoro está conformado por la biofonía, que corresponde a los sonidos producidos por organismos vivos como aves, anfibios e insectos; la geofonía, que incluye sonidos naturales no biológicos como la lluvia, el viento o los ríos; y la antropofonía, asociada a actividades humanas como el tránsito vehicular, maquinaria. Según Villanueva-Rivera et al. (2011).

El estudio del paisaje sonoro permite evaluar el estado de conservación de los ecosistemas y comprender cómo las comunidades biológicas responden a cambios ambientales o perturbaciones antrópicas. En los últimos años, el análisis de paisajes sonoros ha adquirido gran relevancia en estudios de biodiversidad, debido a que proporciona información sobre la actividad biológica y la estructura de las comunidades sin necesidad de observaciones directas (Depraetere et al. 2012).

En este contexto, diversos índices acústicos han sido desarrollados para cuantificar diferentes componentes del paisaje sonoro. Entre ellos destaca el Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI), ampliamente utilizado para evaluar la relación entre sonidos biológicos y sonidos asociados a actividades humanas, permitiendo inferir el grado de intervención o conservación de un ecosistema (Kasten et al. 2012).

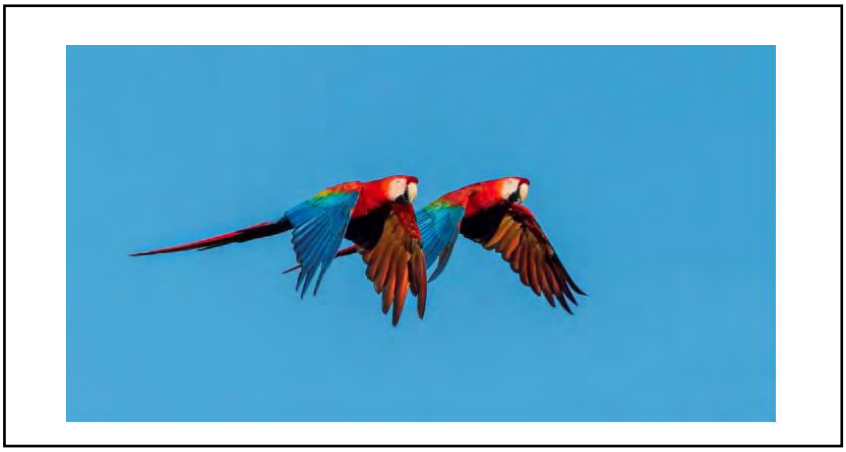
1.2.6. Reserva de Biosfera del Manu: aves y conservación

En la Reserva de Biosfera del Manu, se han registrado más de 1050 especies de aves, entre las más representativas se encuentran el Gallito de las Rocas *(Rupicola pruavianus)*, el Aguila Harpia *(Harpia harpyja)*, el Guacamayo militar (*Ara militaris*), el Tucan andino *(Andigena hypoglauca),* el Carpintero lineado *(Dryocopus lineatus),* el Pájaro paraguas

(Cephalopterus ornatus) y el Cacique de koepcke *(Cacicus koepckeae),* el Guacamayo Azul y Amarillo *(Ara aranaura),* el Guacamayo Escarlata (*Ara macao*) (Schulenberg, 2010); Representando cerca del 10% de la avifauna mundial, posicionándola entre las más importantes para la conservación de aves en el planeta (UNESCO, 2024). Sin embargo, a pesar de su normas y estatus de protección, la Reserva enfrenta amenazas ocasionadas por actividades del ser humano como la agricultura migratoria, la deforestación y la expansión de infraestructuras, que ponen en peligro hábitats críticos para especies vulnerables y endémicas (SERNANP, 2023). El monitoreo constante y la generación de información científica actualizada sobre la diversidad y el estado de conservación de las aves en la Reserva resultan fundamentales para implementar estrategias de manejo y conservación eficaces.

Figura 3

Ara macao en vuelo.



Nota: Foto adaptada del Plan Maestro del Parque Nacional del Manu (SERNANP, 2023)

CAPITULO II

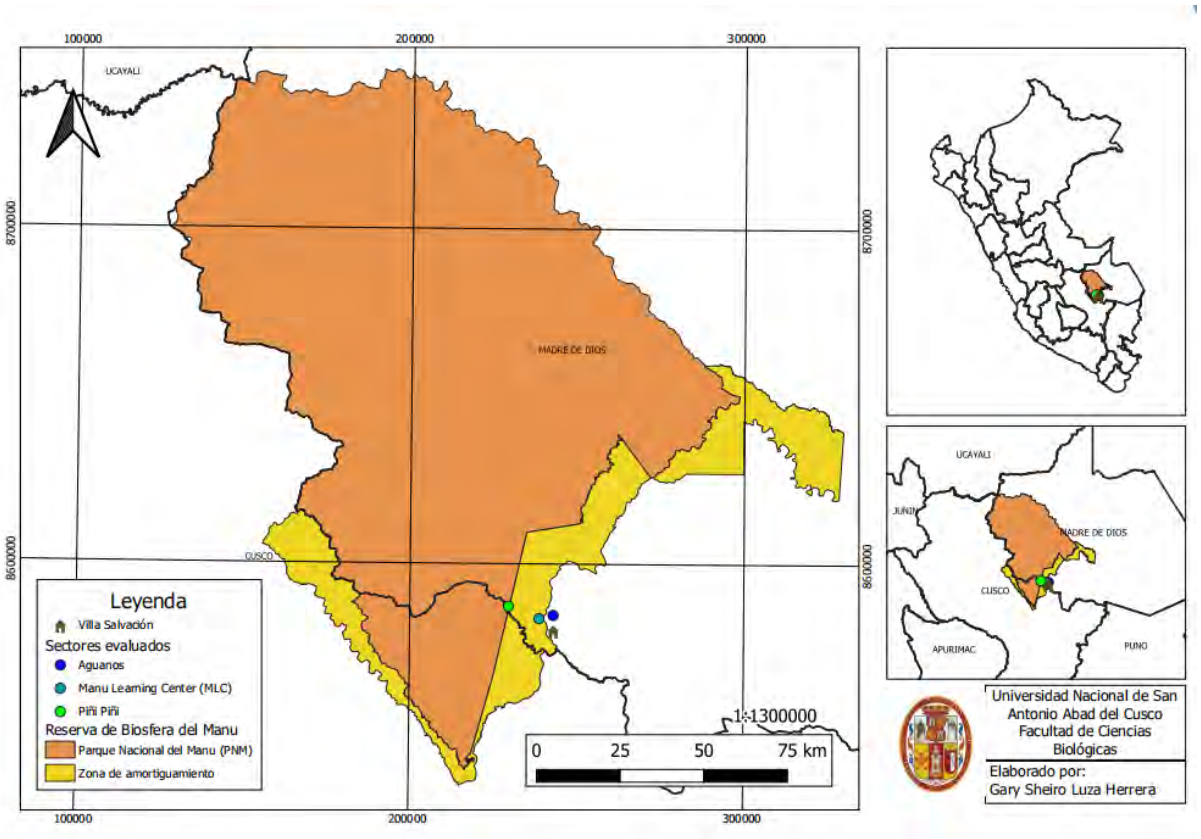
AREA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra en la cuenca del río Alto Madre de Dios, en la porción sur de la Reserva de Biosfera de Manú ubicada entre las regiones de Cusco y Madre de Dios, Perú, que abarca un rango altitudinal entre los 280 y 4000 m. La evaluación se realizó en los meses de agosto, septiembre y octubre del 2019 en tres tipos de bosque (Figura 4).

Figura 4

Mapa de ubicación del área de estudio



2.2. Accesibilidad

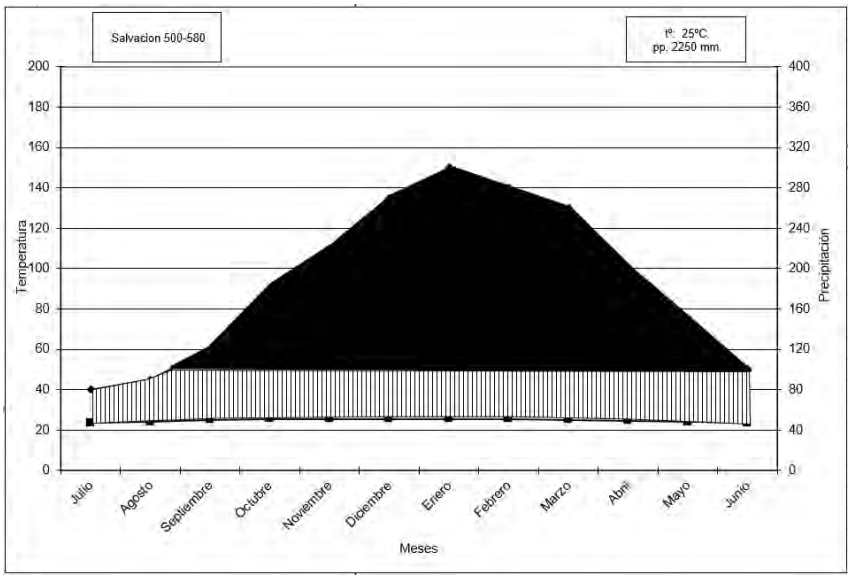
Desde la ciudad de Cusco se recorre por carretera hasta Villa Salvación (aproximadamente 8 horas de viaje), para llegar al primer punto de evaluación: Aguanos, se toma una moto que recorre aproximadamente 5 km, para llegar a Manu Learning Centre, se recorre en moto 8 km por carretera y luego en bote se cruza el río Alto Madre de Dios, y se llega a la cuenca del río Piñi Piñi, desde Atalaya se continua en bote por el río Piñi Piñi hacia la Zona Reservada (el recorrido se realiza en un aproximado de 4 horas rio arriba).

2.3. Clima

La caracterización climática tomando los datos de la estación meteorológica de Salvación corresponde a la de un clima cálido y húmedo, con temperatura media anual que varía entre 17°C y 26°C. La precipitación anual promedio para este periodo se situó entre 2,000 y 2,600 mm, concentrándose principalmente entre los meses de octubre y abril, que corresponden a la estación lluviosa (SENAMHI 2019)

Figura 5

Climatodiagrama Estacion - Salvación



Nota. Elaborado en base a datos climáticos proporcionados por el SENAMHI 2019

2.4. Ecología

Ecológicamente, el área de estudio se encuentra en un gradiente entre la selva baja amazónica y el piedemonte andino de la Reserva de Biosfera del Manu. Este sector presenta una alta heterogeneidad ambiental asociada principalmente a las variaciones de altitud y relieve. En las zonas de menor elevación se encuentran ecosistemas de Selva Baja, entre ellos los **bosques de terraza no inundable**, establecidos sobre terrenos bien drenados y no sujetos a inundaciones periódicas, y los **bosques de colina alta**, desarrollados sobre terrenos elevados y ondulados, con suelos bien drenados y vegetación densa. Hacia mayores elevaciones, el paisaje da paso al **bosque basimontano de Yunga**, caracterizado por una vegetación densa y por representar la transición hacia los bosques montanos. En conjunto, estos ecosistemas conforman un paisaje heterogéneo entre las tierras bajas amazónicas y las estribaciones orientales de los Andes (SERNANP, 2019).

La coexistencia de estos sistemas ecológicos en el área de estudio contribuye significativamente a la alta diversidad de aves registradas, ofreciendo una variedad de hábitats y recursos a las diferentes especies presentes.

2.5. Vegetación y fauna

Dentro de la Reserva de Biosfera del Manu el área de estudio corresponde a tres tipos de cobertura vegetal: Bosque Basimontano de Yunga que presenta una alta densidad de epífitas y bromelias, Bosque de Terraza No Inundable y Bosque de colina alta, ricos en especies de maderas duras y palmeras, adaptadas a sus respectivos suelos y microclimas. En cuanto a la fauna, la Reserva de Biosfera del Manu presenta una gran riqueza de aves, con más de 1,050 especies, destacando el guacamayo rojo (*Ara macao*), el gallito de las rocas (*Rupicola peruviana*), el águila harpía (*Harpia harpyja*) y numerosas especies de colibríes, tangaras y furnáridos. Además, los mamíferos como el jaguar (*Panthera onca*), el mono araña (*Ateles chamek*) y la nutria gigante (*Pteronura brasiliensis*) encuentran refugio en estos bosques, así como reptiles, anfibios y una diversidad sobresaliente de insectos. (SERNANP, 2019).

2.6. Caracterización de los tres tipos de bosque identificados para el área de estudio

Los tres tipos de bosque fueron caracterizados de acuerdo con su historia y grado de perturbación antrópica:

2.6.1. Bosque intervenido: Águanos (AGU)

Ubicado en la margen derecha del río Alto Madre de Dios, aproximadamente a 5 km del centro poblado de Salvación, entre los 500 y 580 m de altitud (UTM 19L, 242962 E, 8584684 N). El área forma parte del paisaje de selva baja amazónica próximo al piedemonte andino y se caracteriza por un mosaico de áreas agrícolas, vegetación secundaria y sectores de bosque en regeneración. La intervención humana ha modificado la continuidad y estructura original de la cobertura vegetal, generando áreas abiertas, bordes y diferentes estados de regeneración. En los alrededores se mantienen pequeñas parcelas destinadas principalmente

al cultivo de maíz y plátano, mientras que algunos sectores presentan más de 20 años de recuperación de la cobertura boscosa. Por estas características este bosque representa dentro del estudio el ambiente con mayor grado de intervención antrópica, donde la comunidad de aves se desarrolla en un paisaje heterogéneo asociado a actividades agrícolas y bosque secundario (SERNANP, 2023).

2.6.2. Bosque manejado: Estación de investigación Manu Learning Centre (MLC)

Ubicado en la estación de investigación Manu Learning Centre (MLC), dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera del Manu, entre aproximadamente 450 y 740 m de altitud (UTM 19L, 238742 E, 8583705 N). Comprende alrededor de 800 ha de bosque tropical en regeneración, dentro de un gradiente entre las tierras bajas amazónicas y el piedemonte andino. Históricamente, el área estuvo sometida a diferentes niveles de perturbación, principalmente tala selectiva y conversión del bosque para agricultura, actividades que cesaron durante la década de 1980. Desde entonces, la vegetación ha experimentado un proceso de regeneración de más de 40 años, permitiendo la recuperación progresiva de la cobertura y estructura forestal. Actualmente predominan las actividades de investigación científica, conservación y ecoturismo, sin la presión agrícola observada en (AGU). Por ello, (MLC) representa una condición intermedia de intervención y recuperación, entre el bosque intervenido (AGU) y el bosque primario conservado (PNM) (Whitworth et al., 2018).

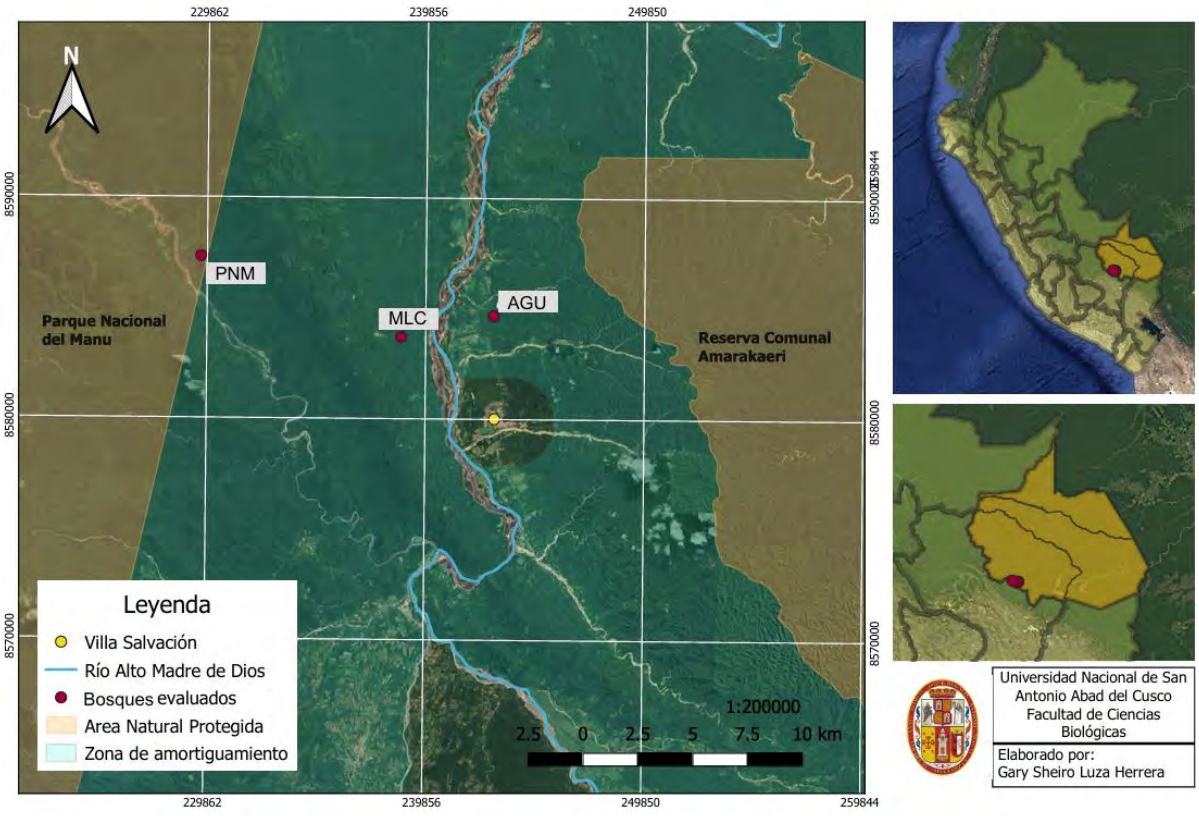
2.6.3 Bosque primario conservado: Cuenca del rio Piñi Piñi (PNM)

Ubicado en la cuenca del río Piñi Piñi, dentro del Parque Nacional del Manu, entre aproximadamente 380 y 500 m de altitud (UTM 19L, 229575 E, 8587326 N). El sitio se encuentra principalmente dentro del ámbito de selva baja amazónica y corresponde al ambiente con menor intervención humana de los tres sitios evaluados. La vegetación mantiene una cobertura forestal continua y una estructura propia de un bosque maduro, sin antecedentes recientes de conversión agrícola o aprovechamiento forestal en el área de muestreo. Su ubicación dentro del Parque Nacional del Manu limita las actividades humanas principalmente a aquellas vinculadas con la gestión del área protegida, investigación y monitoreo ambiental. En consecuencia, (PNM) fue considerado en el estudio como el bosque de referencia en mejor estado de conservación, permitiendo contrastar su comunidad de aves con las registradas en los bosques manejado e intervenido.

Estos 3 escenarios son ideales para hacer un análisis comparativo entre estas 3 zonas mediante monitoreo acústico, lo cual podría mostrar el valor que pueden tener los bosques en regeneración albergando diversidad. (SERNANP, 2023) (Figura 6)

Figura 6

Mapa de ubicación de los tres tipos de bosque evaluados dentro de la Reserva de Biosfera del Manu.



Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1 Material biológico

- Aves

3.1.2 Material de campo

- Machete
- Bolígrafo
- Libreta de campo
- Bote

3.1.3 Equipos

- Grabadoras autónomas Audiomoth
- Cámara fotográfica
- Laptop
- 3 protectores para las grabadoras
- Dispositivo de posicionamiento global (GPS)

3.1.4 Software

- Aplicación AudioMothConfigurationAppSetup1.2.1
- BirdNET
- Phyton (analyze.py)
- Arbimon

3.1.5 Bases de datos

- Xenocanto
- Arbimon

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

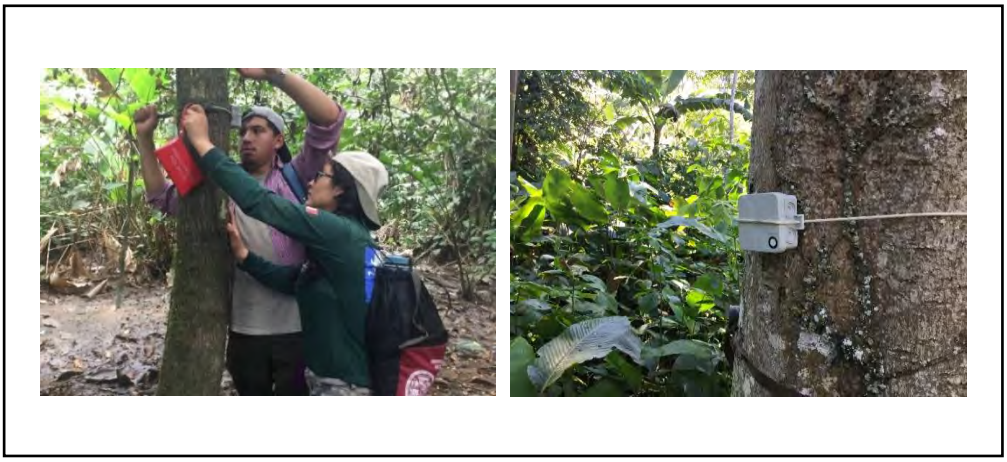
Esta investigación es de tipo descriptiva comparativa, ya que su objetivo es describir y comparar la diversidad de aves presentes, la variación de la actividad acústica y la biofonia y antropofonia en tres tipos bosques en la Reserva de Biosfera del Manu, Cusco-Madre de Dios, a partir de datos acústicos que se obtuvieron con grabadoras autónoma. Este tipo de investigación permite describir las características de los fenómenos observados y comparar su comportamiento entre diferentes grupos o condiciones, sin intervenir sobre ellos (Arellano, 2023).

3.3. INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS

El trabajo de campo fue realizado entre julio y noviembre del 2019. Se utilizaron 3 grabadoras (Audiomoth v1.2.0) protegidas en sus respectivas cajas protectoras en los 3 tipos de bosque descritos para esta evaluación, una en cada bosque con una tarjeta memoria de 32 Gb. Las grabadoras fueron colocadas sobre árboles a una altura de 1,5 m sobre el suelo para maximizar el espacio de detección de sonido y minimizar las sombras de sonido (Darras et al. 2019), (Figura 7), fueron programadas para registrar grabaciones en audio a una frecuencia de muestreo de 48 kHz a 16 bits durante un minuto a intervalos de 30 minutos en archivos sin comprimir (formato WAV) utilizando la aplicación AudioMothConfigurationAppSetup1.2.1 (Prince, 2019)

Figura 7

Instalación de equipos Audiomoth en el Bosque Intervenido



Nota. Fotografía por Lourdes Villena tomada en Aguanos – Salvación

Los equipos fueron retirados el 11 de noviembre de 2019, obteniéndose más de tres meses de grabaciones continuas. Para la presente investigación se seleccionaron 92 días de grabación correspondientes a los meses de agosto, septiembre y octubre, para estandarizar el esfuerzo de muestreo

3.4. FASE DE GABINETE

El trabajo de gabinete se basó en la revisión, organización y el análisis de datos recolectados durante la fase de campo. Se obtuvo un total de 12,954 grabaciones de audio en formato WAV, que sumaron un total de 215.9 horas de grabación, fueron organizadas en tres carpetas de acuerdo al tipo de bosque y el mes de registro para facilitar el análisis.

3.5. METODOLOGIA

Este trabajo de investigación se realizó como parte del Proyecto BIOLABS "Evaluación de la conservación y el potencial sostenible de los bosques tropicales a través de diversos grados de protección en la Reserva de Biosfera del Manu", para el cual se presentó una solicitud con AUTORIZACION ESPECIAL N°23-2019-SERNANP-JPNM/INV que autorizó el ingreso al Parque Nacional del Manu (Anexo 1).

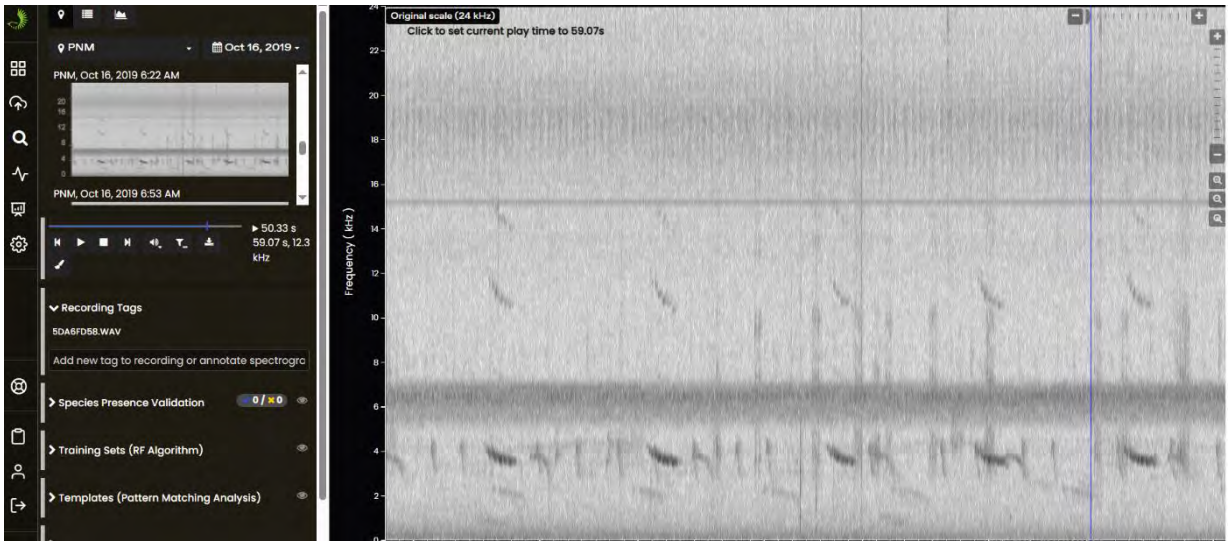
3.5.1. Determinación de la riqueza de especies

Para la determinación preliminar de especies, se procesaron las grabaciones utilizando el script analyze.py de BirdNET-Lite, ejecutado en el entorno de programación Python (Kahl et al. 2021; Van Rossum & Drake, 2009). Los archivos de audio se analizaron por carpetas, cada carpeta correspondía a un mes y tipo de bosque, los parámetros del script fueron configurados para filtrar y registrar únicamente las detecciones con un valor de confianza mayor o igual a 0.5, con el fin de minimizar la presencia de falsos positivos (Stowell et al. 2019). Los resultados generados en una base de datos mostraron las especies determinadas, la fecha y hora de la detección, el valor de confianza y el archivo de origen, esto permitió una organización precisa de los datos.

Una vez obtenidas las especies determinadas por BirdNet se procedió a la verificación manual, para esto se utilizó la Plataforma, Arbimon (Figura 8) que es otra herramienta poderosa para la investigación ecoacústica y la conservación de la biodiversidad, esta Plataforma permitió visualizar las detecciones y los espectrogramas para comprobar si las especies detectadas por BirdNET correspondían, con ayuda de la base de cantos de Xenocanto (Xeno-canto, 2005-2024) y el apoyo de la especialista en ornitología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Rosalbina Butron.

Figura 8.

Espectrograma con detecciones de diferentes especies



Nota. Extraído de Arbimon Rxf Conection. https://arbimon.org/

3.5.1.1. Riqueza de especies por día

La riqueza diaria se determinó contabilizando el número de especies distintas registradas por día en cada tipo de bosque, considerando una sola vez a cada especie independientemente del número de detecciones obtenidas durante ese día. Estos valores se utilizaron para representar la variación temporal de la riqueza entre agosto y octubre de 2019.

3.5.1.2. Curva de acumulación de especies

Para evaluar la incorporación progresiva de especies durante el periodo de muestreo, se elaboró una curva de acumulación de especies para cada tipo de bosque, utilizando los días de muestreo como unidades temporales. Para cada día se contabilizaron las especies registradas acústicamente y se incorporaron de manera acumulativa únicamente aquellas especies que no habían sido registradas previamente, de modo que cada especie fue contabilizada una sola vez a partir de su primer registro. El número acumulado de especies se representó en función de los días transcurridos durante el periodo de muestreo, permitiendo

observar el incremento progresivo de la riqueza registrada y la tendencia de la curva conforme aumentó el esfuerzo temporal de muestreo.

3.5.2. Diversidad Beta

Para determinar el efecto de los tipos de bosque sobre la composición y diversidad de especies de aves se calculó el índice de Jaccard (índice de diversidad cuantitativo)

$$I_J = \frac{C}{a + b - c}$$

Donde: a: número de especies presentes en A.
b: número de especies presentes en B.
c: número de especies presentes en A y B.

Este índice fue calculado con el paquete scipy en Python utilizando la misma fórmula (Van Rossum & Drake, 2009), a partir de las listas de especies detectadas por tipo de bosque. Posteriormente, los valores de similitud se transformaron en una matriz de distancias (1 − Jaccard), la cual se utilizó para realizar un análisis de agrupamiento jerárquico mediante el método UPGMA, representado gráficamente mediante un dendrograma.

3.5.3. Actividad Acústica

La actividad acústica se estimó como el número de detecciones de vocalizaciones de aves por archivo de audio. Para ello, los archivos fueron procesados con BirdNET-Lite (Kahl et al. 2021), el cual generó un registro de las especies detectadas, el momento de la detección y el valor de confianza asociado a cada identificación. Se consideraron únicamente las detecciones con un nivel de confianza ≥ 0.5. Posteriormente, se contabilizó el número total de detecciones por archivo y estos valores se agruparon según el tipo de bosque para su análisis estadístico. Debido a que los datos correspondieron a conteos de detecciones acústicas y no cumplieron los supuestos de normalidad requeridos para pruebas paramétricas, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar diferencias significativas entre los grupos evaluados, utilizando un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) (Kruskall & Wallis, 1952),

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^{K} \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

Donde: H : estadístico de Kruskal-Wallis
N : número total de observaciones
Ri: suma de rangos del grupo (i)
ni: número de observaciones del grupo (i)

3.5.3.1. Frecuencia de ocurrencia y número de detecciones por especie.

Para describir la regularidad temporal de las especies, se calculó la frecuencia de ocurrencia a partir del número de días en que cada especie fue detectada acústicamente. Para cada tipo de bosque, esta frecuencia se obtuvo dividiendo el número de días con detección entre los 92 días de muestreo y multiplicando el resultado por 100. Asimismo, se contabilizó el número de detecciones acústicas registradas para cada especie como indicador de su actividad acústica. De esta manera, la frecuencia de ocurrencia representó la constancia temporal de los registros, mientras que el número de detecciones representó el nivel de actividad acústica registrada. Ambas medidas fueron consideradas indicadores relativos y no estimaciones de abundancia de individuos, ya que varias detecciones pueden corresponder a un mismo individuo.

3.5.4. Índice Normalizado del Paisaje Sonoro (NDSI)

El Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI) compara la proporción de sonidos biológicos (biofonía), principalmente vocalizaciones de aves registradas entre 2 y 11 kHz, con los sonidos de origen humano (antropofonía), registrados entre 0 y 2 kHz (Kasten et al. 2012). Los valores cercanos a +1 indican un predominio de la biofonía, los valores cercanos a 0 reflejan una contribución similar de ambos tipos de sonido y los valores cercanos a −1 indican un predominio de la antropofonía.

$$NDSI = \frac{B - A}{B + A}$$

Donde: B: es la energía acústica de la biofonía.
A: es la energía acústica de la antropofona

El NDSI fue calculado con los paquetes librosa (procesamiento de las grabaciones de audio y la obtención del espectrograma) y NumPy (cálculo de la energía acústica en las bandas de frecuencia correspondientes y la aplicación de la ecuación del índice) en Phyton

Posteriormente, al encontrarse diferencias significativas, se aplicó la prueba post hoc de Dunn con corrección de Holm para identificar específicamente entre qué tipos de bosque existían dichas diferencias (Dunn, 1964)

$$z_{A,B} = \frac{R_A - R_B}{\sqrt{\frac{N(N+1)}{12}\left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}\right)}}$$

Donde: R_A y R_B : corresponden a los rangos promedio de los grupos comparados.
n_A y n_B : representan el tamaño de muestra de cada grupo.
N: es el número total de observaciones.

Los análisis estadísticos y representaciones gráficas fueron realizados utilizando los paquetes SciPy, scikit-posthocs y Matplotlib en Python.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RIQUEZA DE AVES EN TRES TIPOS DE BOSQUE EN LA RESERVA DE BIOSFERA DEL MANU

Se registraron un total de 207 especies, distribuidas en 47 familias y 20 órdenes, el orden Passeriformes fué el más abundante con 22 familias y 120 especies presentes. Las dos familias con mayor número de especie fueron Thamnophilidae con 34 especies y Tyrannidae con 24 especies respectivamente (Anexo 2).

El análisis realizado con BirdNET permitió determinar casi el 90% de las especies. No obstante, para garantizar mayor precisión, se realizó una revisión manual de todos los registros utilizando las plataformas Arbimon y Xeno-canto; y se determinó más del 10% restante. La revisión manual se realizó también para detectar algunas determinaciones erróneas generadas por BirdNET, las cuales fueron eliminadas de la lista final.

BirdNET determinó un menor número de especies para el bosque intervenido (AGU), así mismo para el bosque primario (PNM) y un mayor número de especies para el bosque manejado (MLC), tras la revisión manual, se encontró que 17 eran falsos positivos para (AGU), 13 para (PNM) y 20 para (MLC). El porcentaje de falsos positivos varió entre el 10% y el 15% según el tipo de bosque, las especies que no fueron detectadas por BirdNET se registraron mediante la verificación manual. (Tabla 2)

Tabla 2

Especies de aves identificadas por BirdNET y verificación manual

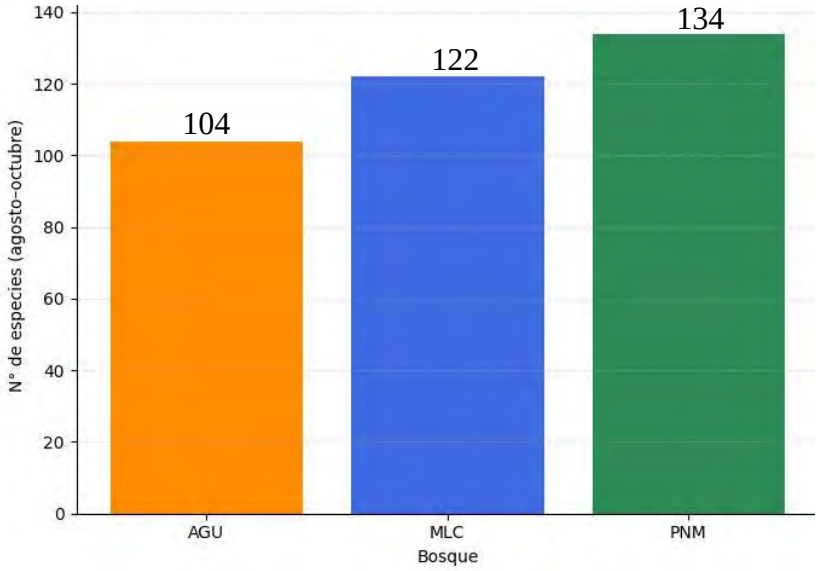
Bosque	Especies Identificadas por BirdNET	Especies Confirmadas manualmente	Especies Descartadas (falsos positivos)	Especies Identificadas solo de forma manual	Total, especies
AGU	93	104	17	28	104
MLC	125	122	20	17	122
PNM	122	134	13	25	134

Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

Al hacer una comparación entre los tres tipos de bosque evaluados se observó que el bosque primario conservado (PNM) albergaría mayor diversidad de especies con 134 especies, seguido del bosque manejado (MLC) y el bosque intervenido (AGU) que registran 122 y 104 especies respectivamente. (Figura 9)

Figura 9

Riqueza de especies por tipo de bosque.



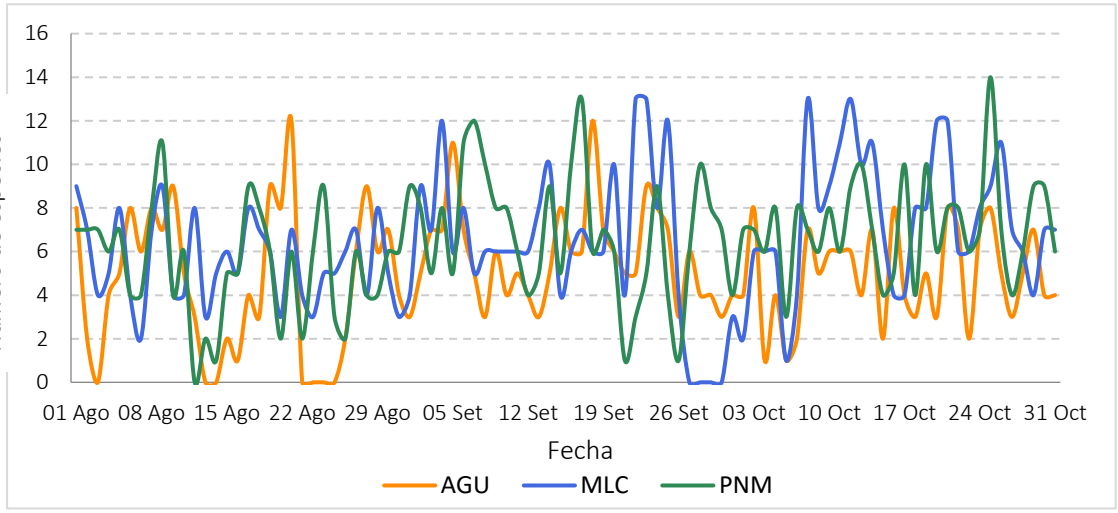
Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

4.1.1. Riqueza de especies por día

La riqueza diaria varió a lo largo de los 92 días de muestreo en los tres tipos de bosque. (AGU) registró entre 0 y 12 especies por día; (MLC) presentó entre 0 y 13 especies; y (PNM) entre 0 y 14 especies. Los valores máximos se registraron en (AGU) el 21 de agosto y 18 de septiembre, en (MLC) durante septiembre y octubre, y en (PNM) el 25 de octubre (Figura 10).

Figura 10

Variación mensual de la riqueza de especies por tipo de bosque



Nota: **AGU**: Aguans (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

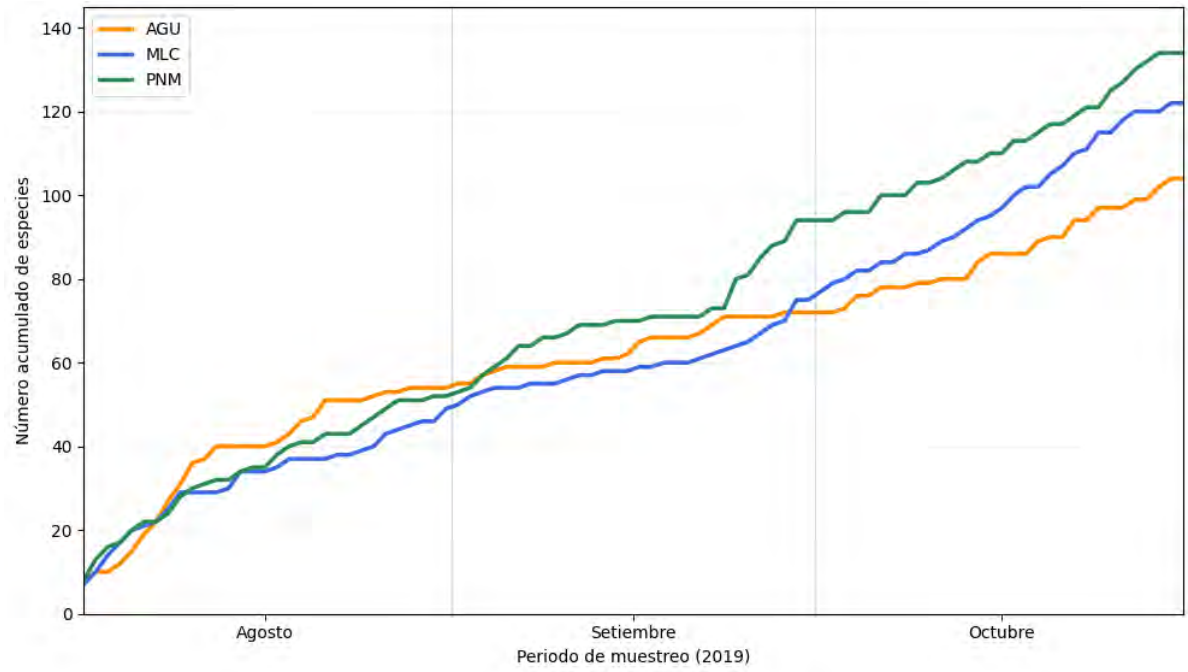
Entre las especies registradas con mayor regularidad se encontraron *Hemitriccus griseipectus* y *Sciaphylax hemimelaena* en (AGU); *Chlorothraupis frenata* y *Hemitriccus griseipectus* en (MLC); y *Hemitriccus griseipectus*, *Cymbilaimus sanctaemariae* y *Myrmoborus lophotes* en (PNM). En conjunto, los tres tipos de bosque mostraron fluctuaciones frecuentes en la riqueza diaria, sin un patrón sostenido en el que uno de ellos mantuviera los valores más altos durante todo el periodo de estudio.

4.1.2. Curva de acumulación de especies

Las curvas de acumulación mostraron un incremento progresivo en el número de especies registradas a lo largo del periodo de muestreo en los tres tipos de bosque. Al finalizar los 92 días, el bosque primario (PNM) presentó la mayor riqueza acumulada, con 134 especies, seguido del bosque manejado (MLC), con 122 especies, y del bosque intervenido (AGU), con 104 especies. Durante las primeras semanas, las curvas presentaron valores relativamente próximos; sin embargo, las diferencias se hicieron más evidentes conforme avanzó el muestreo, particularmente durante septiembre y octubre. Aunque se observaron periodos de estabilización temporal, las tres curvas continuaron incorporando especies hacia el final del periodo de estudio, por lo que no se evidencia una asíntota claramente definida, aunque PNM muestra una tendencia a la estabilización durante los últimos días. (Figura 11)

Figura 11

Acumulación de especies durante el periodo de muestreo



Nota: **AGU**: Aguans (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

4.1.3. Especies incluidas en algún estado de conservación y regulación según la UICN, la legislación nacional y CITES

De las 207 especies registradas, 26 estuvieron incluidas en al menos una categoría de conservación o regulación. De estas, 5: *Ara militaris, Primolius couloni, Ara chloropterus, Ara macao y Pteroglossus beauharnaesii* se encuentran en la lista nacional de especies amenazadas aprobada mediante el Decreto Supremo N.º 004-2014- MINAGRI; 2: *Ara militaris, Primolius couloni* están categorizadas en la Lista Roja de la UICN y 25 figuran en los apéndices de CITES: *Ara macao, Ara militaris* y *Primolius couloni* en el Apendice I; y otras 22 especies entre ellas *Rupicola peruvianus*, *Ara severus, Aratinga weddellii, Pionus menstruus,* se encuentran en el Apéndice II. (Tabla 3).

Además, el bosque manejado (MLC) registró el mayor número con 17 especies seguido del bosque primario conservado (PNM) con 15 y el bosque intervenido (AGU) 13.

Tabla 3

Especies incluidas en algún estado de conservación y regulación según la UICN, la legislación nacional y CITES

ORDEN	FAMILIA	ESPECIES	DS 004-2014	UICN	CITES	AGU	MLC	PNM
Apodiformes	Trochilidae	*Phaethornis hispidus*	-	-	II			x
		Phaethornis ruber	-	-	II			x
Accipitriformes	Accipitridae	*Microspizias superciliosus*	-	-	II		x	x
Strigiformes	Strigidae	*Glaucidium hardyi*	-	-	II	x	x	
		Lophostrix cristata	-	-	II	x	x	x
		Megascops watsonii	-	-	II	x	x	x
Piciformes	Ramphastidae	*Pteroglossus beauharnaesii*	NT	-	-		x	
		Ramphastos tucanus	-	-	II	x	x	
		Ramphastos vitellinus	-	-	II			x
Falconiformes	Falconidae	*Falco rufigularis*	-	-	II	x		
		Herpetotheres cachinnans	-	-	II	x		
		Micrastur ruficollis	-	-	II	x		
Psittaciformes	Psittacidae	*Amazona farinosa*	-	-	II		x	x
		Ara ararauna	-	-	II		x	x
		Ara chloropterus	NT	-	II	x		x
		Ara macao	NT	-	I	x		x
		Ara militaris	VU	VU	I		x	
		Ara severus	-	-	II	x	x	x
		Aratinga weddellii	-	-	II		x	
		Brotogeris cyanoptera	-	-	II		x	
		Forpus modestus	-	-	II		x	
		Pionus menstruus	-	-	II	x	x	x
		Primolius couloni	VU	VU	I	x	x	x
		Psittacara leucophthalmus	-	-	II			x
		Pyrrhura roseifrons	-	-	II	x	x	x
Passeriformes	Contingidae	*Rupicola peruvianus*	-		II		x	

Donde: VU: Especi**e** Vulnerable**, NT:** Especi**e** Casi, Amenazada, **I:** Especies que están en Peligro, **II:** Especies que pueden llegar a estar en Peligro, **III:** Especies con Protección Local

4.2. DIVERSIDAD BETA, INDICE DE JACCARD

La mayor similitud se presentó entre el bosque intervenido (AGU) y el bosque manejado (MLC), con un índice de Jaccard de 0.458, seguida del bosque manejado (MLC) y el bosque primario conservado (PNM), con 0.430. La menor similitud correspondió a (AGU) y (PNM), con un valor de 0.322, indicando un mayor recambio de especies entre el bosque intervenido y el bosque primario conservado (Tabla 4).

Tabla 4

Similaridad en la composición y diversidad beta en los tres tipos de bosque

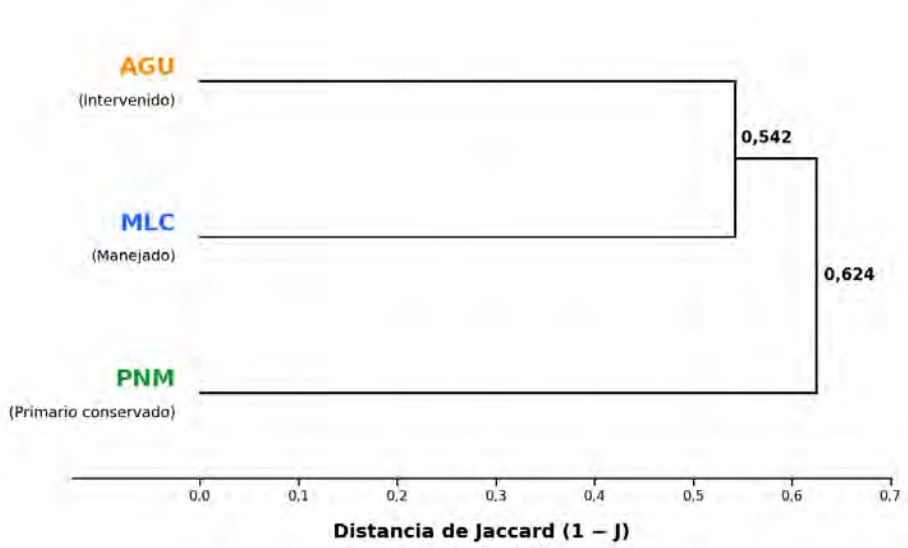
	AGU	**MLC**	**PNM**
AGU	1.000	0.458	0.322
MLC	0.46	1.000	0.430
PNM	0.322	0.430	1.000

Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

El dendrograma de similitud, construido a partir de la distancia de Jaccard (Figura 12), mostró que el bosque intervenido (AGU) y el bosque manejado (MLC) se agruparon a una distancia de 0,542, lo que indica una mayor similitud en la composición de especies de aves, En cambio, el bosque primario conservado (PNM) se agrupa a una distancia de 0,624, evidenciando una menor similitud y una composición más diferenciada respecto a los otros dos bosques. Este patrón refleja un recambio de especies entre los tipos de bosque

Figura 12

Dendrograma de similitud entre los tres tipos de bosque



Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

Complementariamente al análisis de similitud, se registraron 53 especies compartidas entre los tres tipos de bosque, evidenciando la presencia de un componente común en la comunidad de aves. Entre ellas se encontraron *Tinamus tao*, *Megascops watsonii*, *Monasa nigrifrons*, *Pionus menstruus*, *Myrmoborus myotherinus*, *Sciaphylax hemimelaena*, *Hemitriccus griseipectus* y *Tangara chilensis*, entre otras.

Por otro lado, se registraron especies presentes exclusivamente en uno de los tipos de bosque. (PNM) presentó el mayor número de especies exclusivas, con 50, seguido de (MLC) con 30 y (AGU) con 27 (Figura 13).

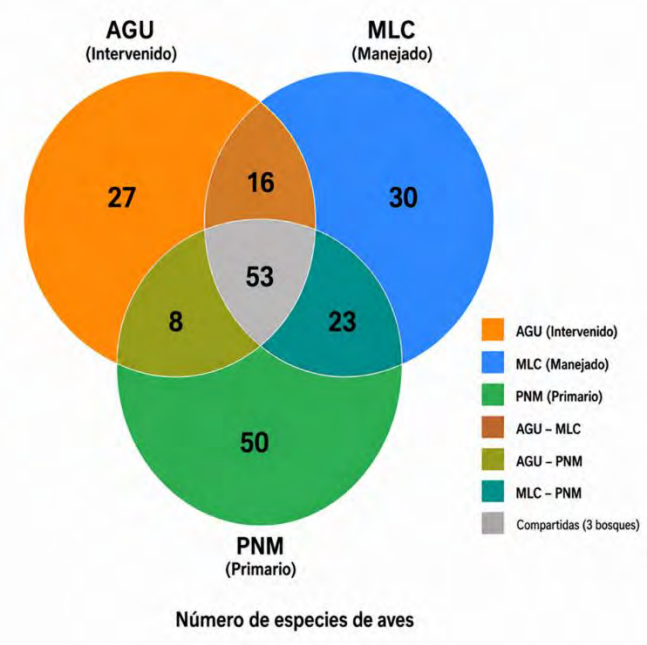
Entre las exclusivas de (PNM) se encontraron Mitu tuberosum, Pteroglossus castanotis, Dryocopus lineatus, Hypocnemis peruviana y Automolus subulatus. En (MLC) destacaron Brotogeris cyanoptera, Rupicola peruvianus, Myrmothera berlepschi, Cacicus cela y Saltator grossus; mientras que en (AGU) se registraron, Nothocrax urumutum, Herpetotheres cachinnans, Micrastur ruficollis, Falco rufigularis y Phlegopsis nigromaculata.

De esta manera, (PNM) presentó la mayor contribución de especies exclusivas a la riqueza registrada. Lista detallada de especies (Anexo 2).

En las comparaciones por pares, (MLC) y (PNM) compartieron el mayor número de especies (76), entre ellas *Crypturellus undulatus*, *Neomorphus geoffroyi*, *Electron platyrhynchum*, *Amazona farinosa*, *Thamnophilus aethiops* y *Sclerurus caudacutus*. (AGU) y (MLC) compartieron 69 especies, incluyendo *Crypturellus strigulosus*, *Ortalis guttata*, *Nyctibius grandis*, *Ramphastos tucanus*, *Cymbilaimus lineatus* y *Chlorothraupis frenata*. Finalmente, (AGU) y (PNM) presentaron el menor número de especies compartidas (61); entre ellas se encontraron *Ara macao*, *Ara chloropterus*, *Spizaetus ornatus*, *Nyctiphrynus ocellatus*, *Euphonia rufiventris* y *Tunchiornis ochraceiceps*.

Figura 13

Número de especies compartidas entre los tres tipos de bosque evaluados



Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

4.3. ACTIVIDAD ACÚSTICA DE LAS AVES EN TRES TIPOS DE BOSQUE EN LA RESERVA DE BIOSFERA DEL MANU

Se analizaron 12,954 grabaciones acústicas obtenidas en los tres tipos de bosque evaluados: 4,345 en el bosque intervenido (AGU), 4,237 en el bosque manejado (MLC) y 4,372 en el bosque primario conservado (PNM). Del total de grabaciones, 2,302 (17.77 %) registraron al menos una detección de aves mediante BirdNET, mientras que los 10,652 restantes (82.23 %) no presentaron detecciones (Tabla 5)

Tabla 5

Numero de grabaciones y detecciones de aves en los tres tipos de bosque evaluados.

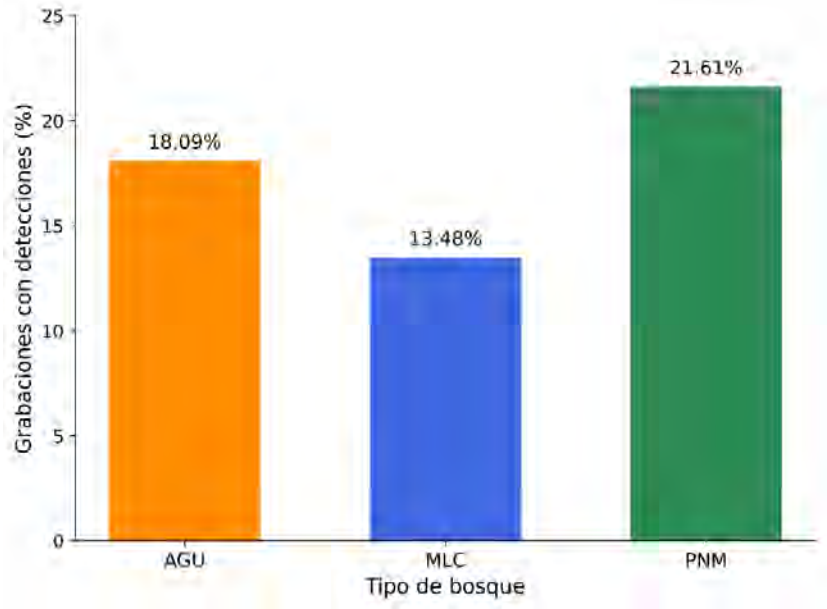
Bosque	Grabaciones analizadas	Grabaciones positivas	% positivas	Detecciones totales
AGU	4345	786	18.09	3772
MLC	4237	571	13.48	2603
PNM	4372	945	21.61	3811
Total	**12954**	**2302**	**17.77**	**10186**

Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

El bosque primario (PNM) registró el mayor porcentaje de grabaciones positivas (21.61 %), seguido por el bosque intervenido (AGU) con 18.09 % y el bosque manejado (MLC) con 13.48 % (Figura 14). Estos resultados indican que la presencia de aves vocalizando fue más frecuente en el bosque primario y menos frecuente en el bosque manejado.

Figura 14

Porcentaje de grabaciones con detecciones de aves en los tres tipos de bosque



Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

4.3.1. Actividad acústica en grabaciones positivas en los tres tipos de bosque

Al considerar únicamente las grabaciones positivas (N = 2,302), el bosque primario (PNM) presentó el mayor número de grabaciones con 945 detecciones, seguido por el bosque intervenido (AGU) con 786 y el bosque manejado (MLC) con 571. Las medianas fueron similares entre los sitios, con valores de 2 detecciones por grabación en (AGU) y (MLC), y de 3 detecciones en (PNM) Asimismo, el 50 % central de las grabaciones positivas se concentró entre 1 y 7 detecciones en AGU, entre 1 y 6 en MLC y entre 1 y 5 en PNM. Los

valores máximos registrados fueron de 27 detecciones en PNM, 21 en AGU y 20 en MLC (Tabla 6).

Tabla 6

Actividad acústica en las grabaciones positivas en los tres tipos de bosque

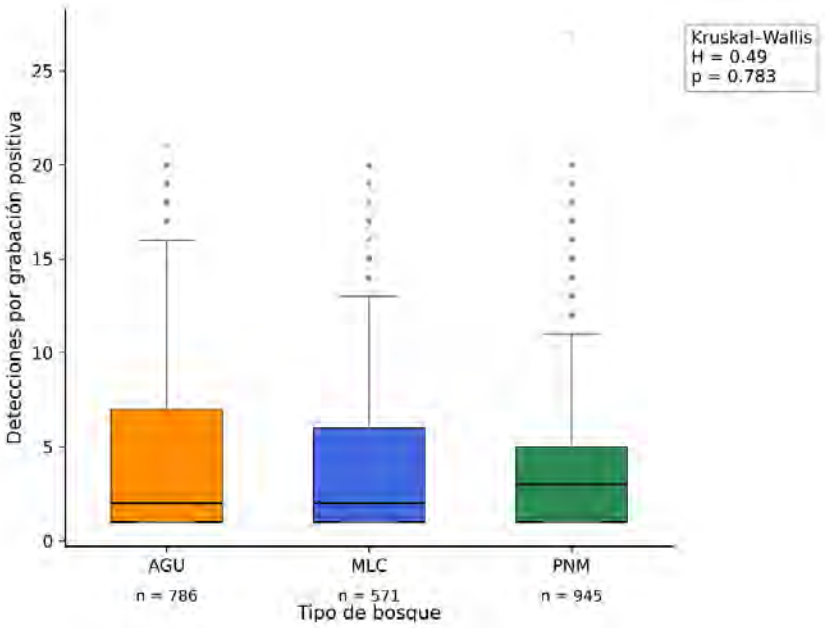
Bosque	n	Mediana	Mín	Q1	Q3	Máx
AGU	786	2	1	1	7	21
MLC	571	2	1	1	6	20
PNM	945	3	1	1	5	27

Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

La distribución del número de detecciones por grabación positiva fue similar entre los tres tipos de bosque (Figura 15). Aunque AGU presentó una dispersión ligeramente mayor de los datos que MLC y PNM, las diferencias observadas fueron pequeñas. La prueba de Kruskal–Wallis confirmó que el número de detecciones por grabación positiva no presentó diferencias significativas entre los tres tipos de bosque ($H = 0.49$; $p = 0.783$).

Figura 15

Distribución del número de detecciones de aves por grabación positiva en tres tipos de Bosque en la Reserva de Biosfera del Manu.



Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

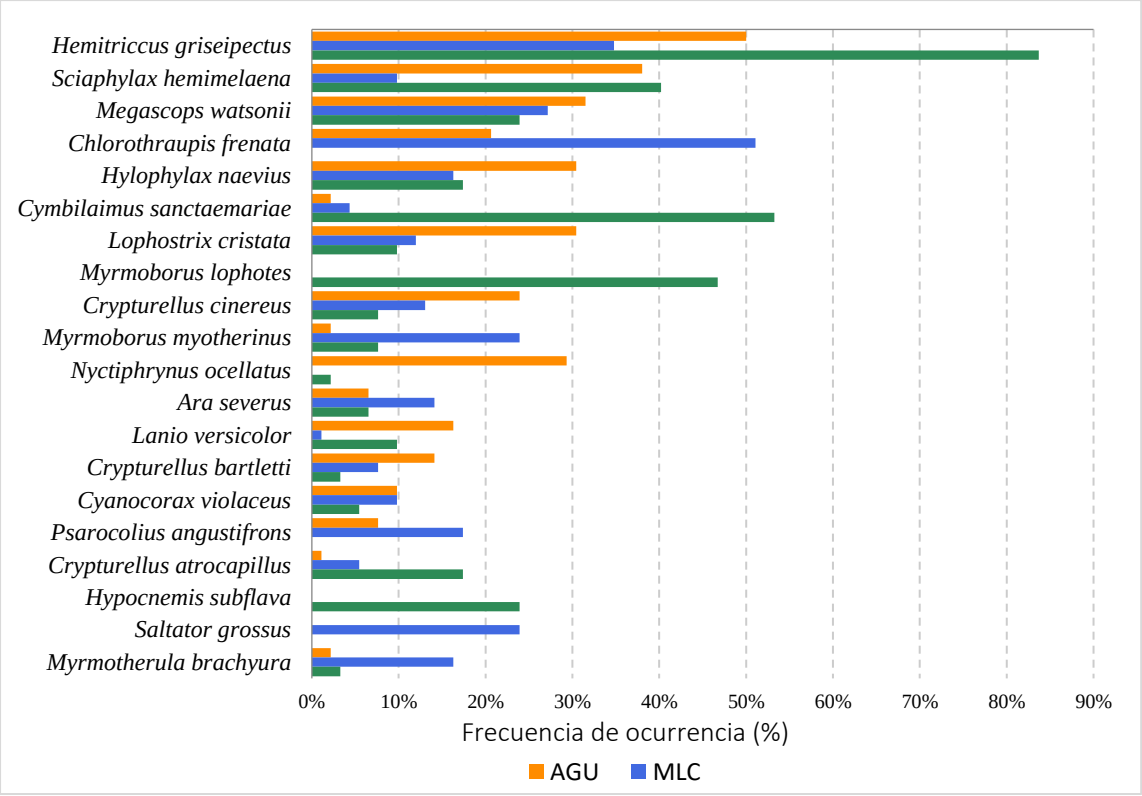
4.3.2. Frecuencia de ocurrencia y número de detecciones por especie

La frecuencia de ocurrencia acústica varió entre las especies registradas durante el periodo de muestreo. *Hemitriccus griseipectus* presentó la mayor frecuencia global, al ser detectada en 155 de los 276 sitio-días evaluados (56,2 %), y acumuló 4 368 detecciones acústicas. Le siguieron *Sciaphylax hemimelaena*, registrada en 81 sitio-días (29,3 %; 365 detecciones), *Megascops watsonii*, en 76 sitio-días (27,5 %; 340 detecciones), y *Chlorothraupis frenata*, en 66 sitio-días (23,9 %; 550 detecciones).

En conjunto, algunas especies fueron registradas de manera frecuente a lo largo del estudio, mientras que otras aparecieron de forma más ocasional. La frecuencia de ocurrencia permitió describir la regularidad temporal de los registros y el número de detecciones, el nivel de actividad acústica registrada. Estos valores no representan directamente el número de individuos presentes, ya que una misma ave pudo generar varias detecciones.

Figura 16

Frecuencia de ocurrencia de las 20 especies con mayor frecuencia global



Nota: La frecuencia corresponde al porcentaje de días en que cada especie fue detectada en cada tipo de bosque. Se muestran las 20 especies con mayor frecuencia global para facilitar la visualización. **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

4.4 ÍNDICE DE PAISAJE SONORO DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDSI)

Los valores del Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI) fueron, en su mayoría, positivos en los tres tipos de bosque, indicando un mayor predominio relativo de la biofonía sobre la antropofonía durante el periodo de evaluación. El bosque primario (PNM) presentó la mediana más alta (0.977), seguido por el bosque intervenido (AGU) con 0.938 y el bosque manejado (MLC) con 0.919. El 50 % central de los valores del NDSI se ubicó entre 0.873 y 0.994 en PNM, entre 0.768 y 0.991 en AGU, y entre 0.597 y 0.990 en MLC, lo que indica una mayor variabilidad del NDSI en el bosque manejado. Aunque en los tres tipos de bosque se registraron algunos valores negativos, el valor máximo fue de 1.00 en todos los casos, reflejando el predominio general de los sonidos biológicos en las grabaciones analizadas (Tabla 7).

Tabla 7

Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI) en los tres tipos de bosque.

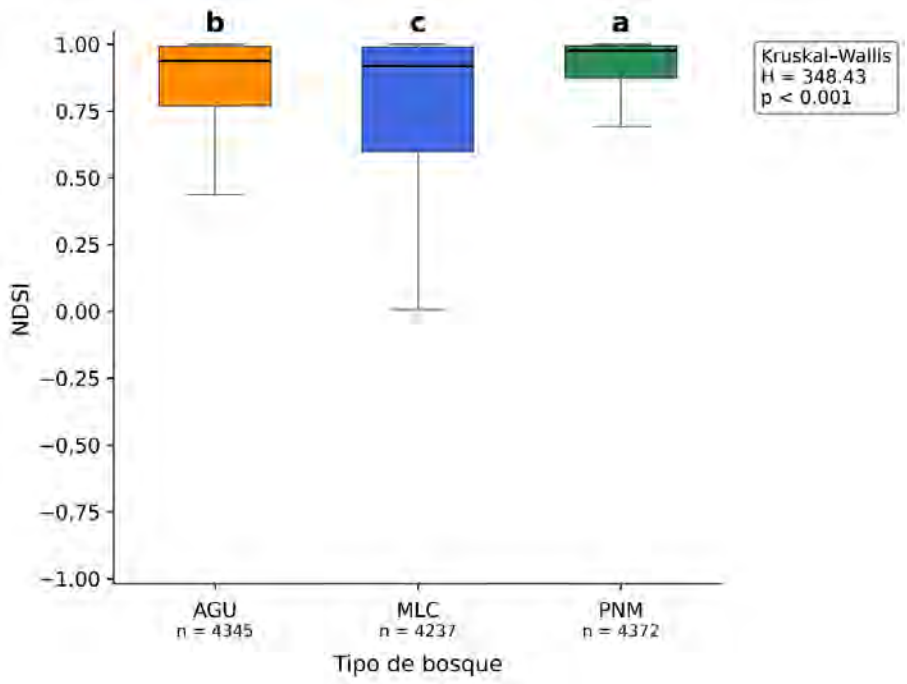
Bosque	n	Mediana	Mín	Q1	Q3	Máx
AGU	4345	0.938	-0.874	0.768	0.991	1.00
MLC	4237	0.919	-0.789	0.597	0.990	1.00
PNM	4372	0.977	-0.870	0.873	0.994	1.00

Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

La distribución de los valores del NDSI mostró diferencias entre los tres tipos de bosque (Figura 17). El bosque manejado (MLC) mostró una mayor dispersión de los datos, evidenciada por un rango intercuartílico más amplio, mientras que el bosque intervenido (AGU) y el bosque primario (PNM) presentaron una distribución más homogénea. Estas diferencias fueron respaldadas por la prueba de Kruskal–Wallis, que mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de bosque ($H = 348.43$; $p < 0.001$).

Figura 17

Distribución de los valores del Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI) en los tres tipos de bosque.



Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

La prueba post hoc de Dunn con corrección de Holm confirmó diferencias significativas en todas las comparaciones por pares (AGU–MLC), (AGU–PNM) y (MLC–PNM) con; $p < 0.001$ en todos los casos, indicando que los valores del NDSI difirieron significativamente entre los tres tipos de bosque. (Tabla 8).

Tabla 8

Comparaciones post hoc de Dunn con corrección de Holm

Comparación	Estadístico	Valor de p	Interpretación
AGU – MLC	Z = 6.44	< 0.001	Significativa
AGU – PNM	Z = -12.00	< 0.001	Significativa
MLC – PNM	Z = -18.37	< 0.001	Significativa

Nota. H = estadístico de la prueba de Kruskal–Wallis; Z = estadístico de la prueba post hoc de Dunn; los valores de *p* corresponden a la corrección de Holm. **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

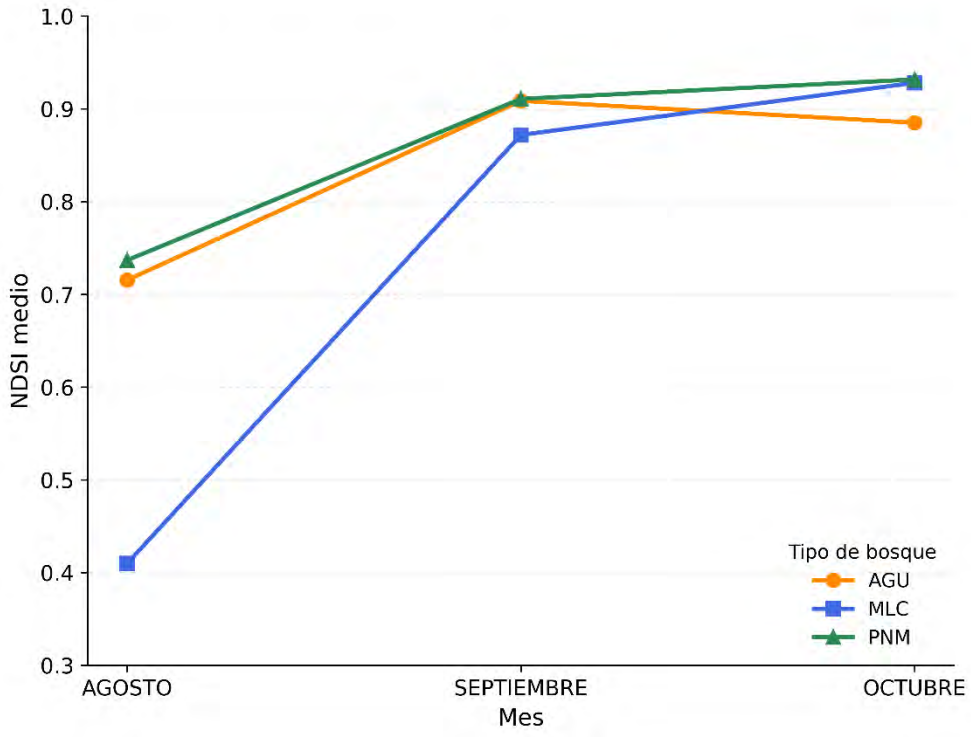
4.4.1 Variación del Paisaje Sonoro en los tres tipos de bosque durante los tres meses de evaluación

Los tres tipos de bosque presentaron diferentes variaciones del Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI) durante los tres meses de. En agosto se registraron los valores más bajos, especialmente en el bosque manejado (MLC; 0.410), mientras que el bosque intervenido (AGU; 0.715) y el bosque primario (PNM; 0.737) presentaron valores relativamente similares. En septiembre se observó un incremento del NDSI en los tres tipos de bosque, alcanzando valores cercanos a 0.9. En octubre, el bosque primario (PNM) registró el valor promedio más alto (0.932), seguido por el bosque manejado (MLC) (0.928) y el

bosque intervenido (AGU) (0.885). En conjunto, los resultados muestran una tendencia general de incremento del NDSI entre agosto y octubre, lo que refleja un relativo dominio de la biofonía respecto de la antropofonía (Figura 18).

Figura 18

Variación mensual de la frecuencia de grabaciones con detecciones de aves en los tres tipos de bosque.



Nota: **AGU**: Aguanos (Bosque Intervenido), **MLC:** Manu Learning Centre (Bosque manejado), **PNM:** Cuenca del rio Piñi Piñi (Bosque Primario Conservado)

4.5. DISCUSION

Los dispositivos AudioMoth registraron grabaciones continuas durante más de tres meses sin necesidad de reemplazar las baterías, evidenciando su eficiencia para el monitoreo acústico pasivo de larga duración. Este resultado coincide con lo reportado por Hill et al. (2017), Valdiviezo Herrera (2019) y Stevens et al. (2019), quienes destacan la alta eficiencia energética de estos dispositivos y su utilidad para estudios de monitoreo acústico de larga duración.

El análisis automatizado realizado con BirdNET con un umbral de confianza mayor igual a 0.5 alcanzó una precisión cercana al 90 %, lo que respalda su utilidad como herramienta de monitoreo bioacústico en áreas tropicales (Kahl et al. 2021), resultados similares se observan en (Arif et al. 2020; Bota, et al, 2023) quienes alcanzaron una tasa de 91.5 y 92.6 % respectivamente. Sin embargo, se evidenciaron falsos positivos (10–15%) y omisiones de especies, especialmente en grabaciones con sonidos superpuestos o interferencias ambientales, tal como han reportado estudios similares (Darras et al. 2019, Stevens, et al. 2019). La revisión manual con apoyo de Arbimon y Xeno-canto permitió corregir estas imprecisiones, eliminando 17, 20 y 13 registros falsos para los bosques intervenido (AGU), manejado (MLC) y primario (PNM), respectivamente, y añadir especies que BirdNET no había detectado, 28 registros para el bosque intervenido (AGU), 17 para el bosque manejado (MLC) y 25 para el bosque primario (PNM).

En total se registraron 207 especies de aves, distribuidas en 20 órdenes y 47 familias, siendo Passeriformes el grupo más representativo con 120 especies, seguido por las familias Thamnophilidae (34 especies) y Tyrannidae (24 especies), un patrón característico de los bosques tropicales amazónicos, donde el orden Passeriformes y las familias Thamnophilidae y Tyrannidae suelen ser los grupos más diversos. Estudios similares fueron reportados por Whitworth et al. (2018), quienes registraron 226 especies en el Manu Learning Centre tras dos años de monitoreo en diferentes estaciones del año, y con Campos-Cerqueira et al. (2019), quienes documentaron 226 especies en Tahuamanu, Madre de Dios y señalaron que los bosques en recuperación pueden mantener comunidades de aves similares a las de bosques primarios. En concordancia con estos hallazgos, el bosque manejado (MLC) registró una riqueza considerable y compartió 76 especies con el bosque primario (PNM), lo que evidencia que, a pesar de su historial de intervención, conserva una comunidad de aves representativa.

El registro de especies Vulnerables como *Ara militaris* y *Primolius couloni* resalta el valor de conservación del área de estudio. Aunque el bosque Primario conservado (PNM) presentó el mayor número de especies exclusivas, algunas especies de interés también estuvieron presentes en el bosque manejado (MLC) y el bosque intervenido (AGU), lo que sugiere que los distintos tipos de bosque pueden aportar a la conservación y conectividad del paisaje. Esto coincide con Álvarez-Berríos et al. (2016), quienes encontraron en Madre de Dios que ambientes con diferente grado de perturbación podían presentar riquezas similares, pero diferencias importantes en la composición y en la presencia de especies sensibles.

El bosque primario (PNM) presentó la mayor proporción de grabaciones con detecciones de aves, lo que indica que la actividad vocal fue más frecuente en este tipo de bosque. Sin embargo, al analizar únicamente las grabaciones positivas, el número de detecciones por grabación fue similar entre los tres tipos de bosque y la prueba de Kruskal–

Wallis no mostró diferencias significativas (p = 0.783 Estos resultados muestran que el bosque primario presentó actividad vocal en un mayor número de grabaciones; sin embargo, cuando las aves estuvieron presentes, el número de detecciones por grabación fue similar entre los tres tipos de bosque. Hopping et al. (2023) señalaron que la actividad acústica de las aves varía según las características del hábitat y el periodo de evaluación, mientras que Campos-Cerqueira et al. (2019) encontraron que los bosques en regeneración pueden mantener comunidades de aves comparables a las de bosques primarios. Estos resultados indican que las diferencias entre los tipos de bosque se relacionan principalmente con la frecuencia con la que las aves vocalizan, mientras que el número de detecciones por grabación positiva se mantiene similar entre ellos.

La frecuencia de ocurrencia acústica varió entre especies y tipos de bosque. *Hemitriccus griseipectus* presentó la mayor frecuencia global (56,2 %) (155 de 276 sitio-días) y 4 368 detecciones, con mayor ocurrencia en el bosque primario (PNM) (83,7 %) que en el bosque intervenido (AGU) (50,0 %) y el bosque manejado (MLC) (34,8 %). Otras especies mostraron patrones particulares: *Chlorothraupis frenata* fue más frecuente en MLC (51,1 %), *Nyctiphrynus ocellatus* en AGU (29,3 %), mientras que *Myrmoborus lophotes* e *Hypocnemis subflava* concentraron sus registros en PNM. Estos resultados evidencian diferencias en la recurrencia acústica entre ambientes. Ross et al. (2023) señalan que los registros acústicos permiten estudiar patrones ecológicos y poblacionales, aunque la estimación directa de abundancia es compleja debido, entre otros factores, a la dificultad de distinguir varios individuos de un mismo individuo que vocaliza repetidamente. Por ello, la frecuencia de ocurrencia y el número de detecciones se interpretaron como indicadores de recurrencia y actividad acústica, respectivamente, y no como estimaciones directas de abundancia.

El NDSI se calculó utilizando la totalidad de las 12,954 grabaciones obtenidas durante el periodo de estudio, incluyendo aquellas sin detecciones de aves. Esto permitió evaluar el paisaje sonoro completo de cada tipo de bosque, considerando tanto los sonidos biológicos como los sonidos de origen antrópico presentes en cada grabación. Los valores positivos del NDSI registrados en los tres tipos de bosque indican que, en general, predominó la biofonía sobre la antropofonía durante el periodo de evaluación. De acuerdo con Kasten et al. (2012), valores cercanos a +1 reflejan un mayor predominio relativo de los sonidos biológicos, característica esperada en ecosistemas con alta actividad biológica. En el presente estudio, el bosque primario (PNM) presentó los valores más altos de NDSI y diferencias significativas con respecto al bosque intervenido (AGU) y al bosque manejado (MLC), lo que indica que el paisaje sonoro del bosque primario estuvo relativamente más dominado por la biofonía que el de los otros dos tipos de bosque. Estos resultados coinciden con Álvarez-Berríos et al. (2016), quienes demostraron que las modificaciones del hábitat generan cambios en las comunidades de aves detectables mediante monitoreo acústico. En conjunto, los resultados muestran que el NDSI fue capaz de diferenciar los tres tipos de bosque y respaldan su utilidad como un indicador complementario para evaluar el estado de conservación de los ecosistemas mediante monitoreo acústico pasivo.

En conjunto, estos resultados muestran que el monitoreo acústico pasivo, complementado con herramientas de identificación automática e índices acústicos, fue útil para detectar diferencias en la diversidad de aves y en las características del paisaje sonoro asociadas al grado de intervención del bosque.

CONCLUSIONES

1. Con la metodologia empleada se registraron un total de 207 especies distribuidas en 20 órdenes y 47 familias. El orden Passeriformes fue el más representativo, con 120 especies (más del 50 % del total). El análisis automático con BirdNET permitió identificar el 90 % de las especies, pero entre el 10 y 15 % de las detecciones correspondieron a falsos positivos. La verificación manual realizada con Arbimon y Xeno-canto permitió corregir errores y garantizar la confiabilidad de la lista final de especies registradas.

2. La composición y riqueza de aves variaron entre los tres tipos de bosque evaluados. El bosque primario conservado (PNM) presentó la mayor riqueza, diversidad y número de especies exclusivas, lo que evidencia que los bosques mejor conservados albergan comunidades de aves más diversas. Por otra parte, el bosque manejado (MLC) mostró valores intermedios, mientras que el bosque intervenido (AGU) registró una menor riqueza y una mayor presencia de especies que pueden adaptarse con mayor facilidad a ambientes perturbados. Además, las 53 especies compartidas entre los tres tipos de bosque indican que existe un grupo de aves presente en toda el área de estudio; sin embargo, las diferencias en los índices de similitud y la presencia de especies exclusivas indican un importante recambio de especies, resaltando la heterogeneidad ambiental y la importancia de conservar distintos tipos de bosque dentro de la Reserva de Biosfera del Manu.

3. De las 12,954 grabaciones analizadas, el 17.8 % presentó al menos una detección de aves, siendo el bosque primario (PNM) el que registró la mayor proporción de grabaciones positivas (21.61 %), seguido por el bosque intervenido (AGU) con 18.09 % y el bosque manejado (MLC) con 13.47 %. Sin embargo, al analizar únicamente las grabaciones positivas, el número de detecciones por grabación fue similar entre los tres tipos de bosque, sin

diferencias significativas (H = 0.49; p = 0.783). Estos resultados indican que las aves vocalizaron con mayor frecuencia en el bosque primario, pero que, una vez registrada la actividad vocal, el número de detecciones por grabación fue comparable entre los tres tipos de bosque.

4. El Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro (NDSI) presentó diferencias significativas entre los tres tipos de bosque evaluados. El bosque primario (PNM) registró los valores más altos de NDSI, seguido por el bosque intervenido (AGU), mientras que el bosque manejado (MLC) presentó los valores más bajos. En los tres bosques, los valores positivos del NDSI indican un predominio de la biofonía sobre la antropofonía, aunque este predominio fue mayor en el bosque primario. Además, el incremento del NDSI entre agosto y octubre sugiere un aumento de la actividad biológica durante el periodo de estudio. En conjunto, estos resultados muestran que el NDSI es una herramienta útil para evaluar las diferencias del paisaje sonoro y el grado de conservación de los bosques de la Reserva de Biosfera del Manu.

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar el periodo de monitoreo acústico a lo largo de todo el año, con la finalidad de capturar la variación estacional completa de la actividad y diversidad de aves, considerando que los resultados muestran cambios importantes entre meses.

Asimismo, se recomienda incrementar el número de puntos de muestreo en cada tipo de bosque, lo que permitiría obtener una representación más robusta de la comunidad de aves y reducir posibles sesgos asociados al muestreo.

Finalmente, se propone fomentar el uso de herramientas de monitoreo acústico pasivo, como BirdNET, en programas de conservación y gestión de áreas naturales, debido a su eficiencia para registrar la biodiversidad y detectar cambios en las comunidades de aves en distintos tipos de bosque, procesando cantidades grandes de datos.

BIBLIOGRAFIA

Aguilar-Amuchastegui, N., & Henebry, G. (2006). Monitoring sustainability in tropical forests: How changes in canopy spatial pattern can indicate forest stands for biodiversity surveys. *IEEE Geosci. Remote Sens., 3*, 329-333.

Alvarez Berrios, N., Campos Cerqueira, M., Hernandez Serna, A., Delgado , J. A., Roman, D., & Aide, M. (2016). Impacts of small-scale gold mining on birds and anurans near the Tambopata Natural Reserve, Peru, assessed using passive acoustic monitorin. *Tropical Conservation Science, 9 (2)*, 832-851.

Arellano, F. (2023). *Enciclopedia significados*. Obtenido de Investigación Descriptiva: https://www.significados.com/investigacion-descriptiva/

Arif, M., Hedley, R., & Bsyne, E. (2020). Testing the Acciracy of a BirdNET, Automatic song Classifier.

Barre, M., Arbelaez-Cortes, E., & Tellez, C. (2021). Automated acoustic monitoring reveals temporal and spatial variation of bird diversity across an Andean gradient. Ecology and Evolution, 11, . *Ecology and Evolution,, 11*, 17193–17204.

(2014). *BirdLife International Peru.* Peru. Obtenido de http://www.birdlife.org/datazone/country/peru. Checked: 2014-07-05

Blumstein, D. T., Mennill, D. J., Clemins, P., & Girod, L. (2011). Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: Applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology, 48*(3), 758-767. doi:10.1111/j.1365-664.2011.01993.x

Bohórquez Puentes, D. A. (2020). Evaluación de la diversidad acústica en el área Laureles y el bosque de referencia en el Parque Forestal Embalse del Neusa. *Trabajo de grado en Biologia*. Bogota, Colombia.

Bota, G., Manzano'Rubio, R., Catalan, L., Gomez-Catasus, J., & Perez-Granado, C. (2023). Hearing to the Unseen: AudioMoth and BirdNET as a Cheap and Easy Method for Monitoring Cryptic Bird Species. https://doi.org/10.3390/s23167176. *Sensors, 23(16), 7176.* Obtenido de https://doi.org/10.3390/s23167176

Bradbury, J., & Vehrencamp, S. (2011). *Principles of Animal Communication* (Vol. 2nd). Sinauer Associates.

Browning, Ella; Gibb, Rory; Glover-Kapfer, Paul; Jones, Kate E. (2017). Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. *WWF Conservation Technology 2,*.

Buxton, R., Mckenna, M., Clapp, M., Meyer, E., Sgtabenau, E., Angeloni , L., . . . Witenmyer, G. (2018). Eficacia de la extracción de índices a gran escala grabaciones acusticas para monitorear la biodiversidad. *Conservation Biology*.

Campos Cerqueira, M., Mena, J. L., Tejeda-Gomez, V., & Aguilar, N. (2019). How does FSC forest certification affect the acoustically active fauna in Madre de Dios, Peru? *ZSL, Let's work for wildlife*.

Campos-Cerqueira, M. (2016). Improving distribution data of threatened species by combining acoustic monitoring and occupancy modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 1340-1348.

Caycedo-Rosales, P., & González , C. (2018). *Caracterización y monitoreo de aves y paisajes sonoros en tres macrohábitats de la región de La Mojana.* Tecnico, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y, Convenio 15-027. , Bogota.

Caycedro Rosales, P., & Gonzales, C. (2018). *Caracterización y monitoreo de aves y paisajes sonoros en tres macrohábitats de la región de La Mojana. Informe final.* Bogota: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de Córdoba.

CITES. (2024). Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres .

Clements, J. F. (2011). The Clements Checklist of Birds of the World (6ta edicion).

Darras, K., Batary, P., Furnas, B., Grass, I., Mulyani, Y., & Tscharntke, T. (2019). Autonomous sound recording outperforms human observation for sampling birds: a systematic map and user guide. *Ecological Aplications, 29*.

Depraetere, M., Gasc, A., Pavoine, S., Jiguet, F., Gasc, A., Duvail, S., & Sueur, J. (2012). Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland. *Ecological indicators, 13*(1), 46-54. doi:10.1016/j.ecolind.2011.05.006

Dunn, O. (1964). Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics, 6*(3), 241-252. doi:https://doi.org/10.1080/00401706.1964.10490181

Ferreira, L., Correira, R., & Marques, T. (2023). A Workflow for monitoring Neotropical bird diversity using passive acoustic monitoring and BirNet. *Ecological Informatics, 72*.

Ferrerira, L. M., Correira, R., & Marques, T. (2023). Passive acoustic monitoring with BirdNET reveals high avian diversity in a tropical forest reserve in the eastern Amazon. *Ecological Informatics*.

Galindo, R. A. (2021). SINFONÍA LLANERA: DIVERSIDAD ACÚSTICA EN UN GRADIENTE DE INTERVENCIÓN. Bogota, Colombia.

Gallice, G. R., Larrera Gallegos, G., & Vasquez Rowe, I. (2019). The threat of road expansion in the Peruvian Amazon. *Oryx, 53*(2), 284-292. doi:https://doi.org/10.1017/S0030605317000412

Hill, A., Prince, P., Covarrublas, E., Doncaster, p., Snaddon, J., & Rogers, A. (2017). AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Mrthods in Ecology and Evolution*.

Hoping, W., Sayers, C., Huaraca - Charca, N., & Klinck, H. (2023). Simultaneous passive acoustic monitoring uncovers evidence of potentially overlooked temporal variation in an Amazonian bird community. doi:10.1101/2021.09.25.461815.

Hopping, W., Sayers, C., Huaraca, N., & Kling, H. (2023). Simultaneous passive acoustic monitoring uncovers evidence of potentially overlooked temporal variation in an Amazonian bird community. *Ibis, 166*. doi:10.1111/ibi.13293

Kahl, S., Wilhelm-Stein , T., Hussein , H., & Kow, D. (2018). Large-Scale Bird Sound Classification using Convolutional Neural Networks. *CLEF (Working Notes)*.

Kahl, S., Wood, C. M., Eildl, M., & Klinck, H. (2021). BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. *Ecological Informatics, 61*(101236). Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101236

Kasten, E. P., Gage, S., Fox, J., & Joo, W. (2012). The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: An archive for studying soundscape ecology,. *Ecological Informatics, 12*, 50-67. doi:10.1016/j.ecoinf.2012.08.001.

Kasten, E., Gagen, S., Fox, J., & Joo, W. (2012). The Remote Environmental Assessment Laboratory's Acoustic Library: An Archive for Studying Soundscape Ecology. *Ecological Informatics, 12*, 50-67. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.08.001

Kruskall, W., & Wallis, W. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association, 47*(260), 583–621. Obtenido de https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441

Lindenmayer, D., & Likens, G. (2010). *Effective Ecological Monitoring.* CSIRO Publishing.

MacArthur, R., & MacArthur, J. (1961). On Bird species diversity. *Ecology*, 594-598. doi: 10.2307/1932254

Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement. .* Princeton University Press, Princeton, NJ.

Márquez, R., Riva, I., Gil, D., Sueur, J., Marques, P., Luisia, D., & Riva, I. (2011). Los sonidos de los animales: una firma de su identidad. *Quercus*, 36-44.

Newbold, T., Hudson, L., Arnell, A., Contu, S., De Palma, A., Ferrier, S., . . . Chng, C. (2016). Has Land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 288-291.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, l. C.-U. (2024).

Parra, E. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *CES Salud publica, 5*, 1-11.

Pieretti, N., Morri, D., & Farina, A. (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators, 11*(3), 868-873. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.11.005

Plenge, M. A. (2017). *Lista de las aves del Perú.* Lima, Perú.

Plenge, M. A. (2024). *Las aves del Peru.* Lima.

Prince, P. (18 de 01 de 2019). Obtenido de https://www.openacousticdevices.info/profile/admin-15/profile

Proctor, N., & Lynch, P. (1993). Avian structure and function. *Manual of Ornithology*.

Robinson, S., & Terborgh, J. (1997). BIRD COMMUNITY DYNAMICS ALONG PRIMARY SUCCESSIONAL GRADIENTS OF AN AMAZONIAN WHITEWATER RIVER, . *Ornithological Monographs*, 641-672.

Ross, S.-J., O´ Cornell, D., Deichmann, J., Desjonqueres, C., Gasc, A., Phillips, J., . . . Burivalova , Z. (2023). PPassive acoustic monitoring provides a fresh perspective on fundamental ecological questions. *Functional Ecology, 37*(4), 959-975.

Rossing, T. (2007). *pringer Handbook of Acoustics. .* Springe.

Schulenberg, T. S. (2010). Lima: CORBIDI.

Sekercioglu, C. H., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (2004). Ecosystem consequences of bird declines. *PNAS, 101*(52).

SERFOR, S. F. (2018). *Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Peru.* Lima.

SERNANP. (2019-2023). *Plan Maestro del Parque Nacional del Manu.* Lima.

Slabbekoorn, •. (2004). • Habitat-dependent ambient noise: Consistent spectral profiles in two African forest types. *J. Acoust. Soc. Am.*

Sousa-Lima, R. S., Ferreira, L., Oliveira, E., Lopes, L., Brito, M., Baumgarten, J., & Rofrigues, F. (2018). What do insects, anurans, birds, and mamals have to say about soundscape indices in a tropical savanna. *Journal of Ecoacoustics, 2*, 1-1.

Stattersfield,, A. J., Crosby, J., & Long, A. J. (1998). *Endemic Bird Areas of the World: Priorities for Biodiversity Conservation* (Vol. 7). (B. International, Ed.) Cambridge, UK: BirdLife Conservation Series.

Stevens, H. C., Saboya Del Castillo, P., Diaz Alvan, J., Metz, E., & Bowler, M. (2019). Uso de grabaciones de audio autonomas para el rapido inventario de aves en los bsoques de arena blanca de la Amazonia peruana. *Journal of Field Ornithology*, 90(1):70-79.

Stowell, D., Wood, M., Pamula, H., Stylianou, Y., & Glotin, H. (2019). Automatic acoustic detection of birds through deep learning: The first Bird Audio Detection challenge. *Brtish Ecological Society, 10*, 368-380.

Sugai, L., Desjonqueres, C., Silva, T., Silva, T., & Llusia , D. (2020). A roadmap for survey designs in terrestrial acoustic monitoring. *Remote Sensing in Ecology and Conservation, 6*(3), 220–235. Obtenido de https://doi.org/10.1002/rse2.131

UNESCO. (1987).

Valdiviezo Herrera, A. A. (2019). Variación del paisaje sonoro en un gradiente de perturbación en la Comunidad Nativa de Chirikyacu, San Martín-Perú 2019. Comunidad Nativa de Chirikyacu, San Martín, Peru.

Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). Python 3 Reference Manual. CreateSpace.

Van Schaik, C. P., Terborgh, J., & Wright, S. J. (s.f.). The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primar y consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics, 24*, 353-377.

Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekin, B. (2011). Aprimer of acoustic analysis for landscape ecologist. *Ladnscape Ecol.*, 23:1233-1246. doi:10.1007/s10980-011-9636-9

Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30:279–338.

Whitworth, A., Pillco Huarcaya, R., Downie, R., Vilacampa, J., Braunholtz, L. D., & MAcLeod, R. (2018). Long lasting impressions: After decades of regeneration rainforest biodiversity remains differentially affected following selective logging and clearance for agriculture. *Global Ecology and Conservation, 13*. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00375.

ANEXOS

Anexo 1. Autorización el ingreso al Parque Nacional del Manu

Anexo 2. Listado general de las especies encontradas en tres tipos de bosque en la Reserva de Biosfera del Manu

ORDEN	FAMILIA	ESPECIES	AGU	MLC	PNM
TINAMIFORMES	**TINAMIDAE**	*Tinamus tao*	x	x	x
		Tinamus major	x	x	x
		Crypturellus cinereus	x	x	x
		Crypturellus soui	x	x	x
		Crypturellus undulatus		x	x
		Crypturellus strigulosus	x	x	
		Crypturellus atrocapillus	x	x	x
		Crypturellus bartletti	x	x	x
		Crypturellus tataupa			x
ANSERIFORMES	**ANHIMIDAE**	*Anhima cornuta*	x		
GALLIFORMES	**CRACIDAE**	*Ortalis guttata*	x	x	
		Nothocrax urumutum	x		
		Mitu tuberosum			x
	ODONTOPHORIDAE	*Odontophorus stellatus*			x
COLUMBIFORMES	**COLUMBIDAE**	*Patagioenas plumbea*	x	x	x
		Patagioenas subvinacea		x	x
		Geotrygon montana	x		
		Leptotila rufaxilla		x	
CUCULIFORMES	**CUCULIDAE**	*Tapera naevia*		x	
		Dromococcyx pavoninus			x
		Neomorphus geoffroyi		x	x
		Piaya cayana		x	x
NYCTIBIIFORMES	**NYCTIBIIDAE**	*Nyctibius grandis*	x	x	
		Nyctibius aethereus	x		
		Nyctibius griseus			x

CAPRIMULGIFORMES	**CAPRIMULGIDAE**	*Nyctipolus nigrescens*			x
		Nyctiphrynus ocellatus	x		x
APODIFORMES	**APODIDAE**	*Tachornis squamata*			x
	TROCHILIDAE	*Phaethornis ruber*			x
		Phaethornis hispidus			x
OPISTHOCOMIFORMES	**OPISTHOCOMIDAE**	*Opisthocomus hoazin*			x
GRUIFORMES	**ARAMIDAE**	*Aramus guarauna*	x		
	PSOPHIIDAE	*Psophia leucoptera*	x	x	
EURYPYGIFORMES	**EURYPYGIDAE**	*Eurypyga helias*	x		
ACCIPITRIFORMES	**ACCIPITRIDAE**	*Spizaetus tyrannus*	x	x	x
		Spizaetus ornatus	x		x
		Circus buffoni	x		
		Microspizias superciliosus		x	x
STRIGIFORMES	**STRIGIDAE**	*Megascops watsonii*	x	x	x
		Lophostrix cristata	x	x	x
		Pulsatrix melanota			x
		Strix huhula	x	x	x
		Glaucidium hardyi	x	x	
TROGONIFORMES	**TROGONIDAE**	*Trogon melanurus*	x	x	x
		Trogon viridis			x
		Trogon curucui			x
		Trogon rufus	x	x	x
		Trogon collaris		x	x
CORACIIFORMES	**MOMOTIDAE**	*Electron platyrhynchum*		x	x
		Baryphthengus martii	x		
		Momotus momota		x	
GALBULIFORMES	**GALBULIDAE**	*Galbula cyanescens*		x	
	BUCCONIDAE	*Micromonacha lanceolata*		x	x
		Nonnula rubecula	x		

		Nonnula ruficapilla			x
		Monasa nigrifrons	x	x	x
		Chelidoptera tenebrosa	x		
PCIFORMES	**CAPITONIDAE**	*Capito auratus*	x		
		Eubucco richardsoni			x
	RAMPHASTIDAE	*Ramphastos tucanus*	x	x	
		Ramphastos vitellinus			x
		Aulacorhynchus atrogularis		x	
		Pteroglossus beauharnaesii		x	
		Pteroglossus castanotis			x
	PICIDAE	*Picumnus aurifrons*			x
		Picumnus rufiventris			x
		Melanerpes cruentatus	x	x	x
		Campephilus melanoleucos			x
		Dryocopus lineatus			x
		Piculus leucolaemus	x	x	
FALCONIFORMES	**FALCONIDAE**	*Herpetotheres cachinnans*	x		
		Micrastur ruficollis	x		
		Falco rufigularis	x		
PSITTACIFORMES	**PSITTACIDAE**	*Brotogeris cyanoptera*			x
		Pionus menstruus	x	x	x
		Amazona farinosa		x	x
		Forpus modestus		x	
		Pyrrhura roseifrons	x	x	x
		Pyrrhura rupicola	x	x	x
		Aratinga weddellii		x	
		Primolius couloni	x	x	x
		Ara ararauna		x	x
		Ara severus	x	x	x

		Ara militaris		x	
		Ara macao	x		x
		Ara chloropterus	x		x
		Psittacara leucophthalmus			x
PASSERIFORMES	**THAMNOPHILIDAE**	*Cymbilaimus lineatus*	x	x	
		Cymbilaimus sanctaemariae	x	x	x
		Taraba major	x	x	
		Thamnophilus schistaceus	x	x	x
		Thamnophilus aethiops		x	x
		Dysithamnus mentalis			x
		Thamnomanes saturninus	x	x	x
		Thamnomanes schistogynus	x	x	x
		Thamnomanes ardesiacus	x	x	
		Epinecrophylla erythrura			x
		Epinecrophylla spodionota			x
		Myrmotherula brachyura	x	x	x
		Microrhopias quixensis			x
		Drymophila devillei			x
		Myrmotherula axillaris		x	x
		Hypocnemis peruviana			x
		Hypocnemis subflava			x
		Hypocnemis hypoxantha		x	x
		Cercomacroides serva		x	x
		Cercomacroides fuscicauda		x	x
		Cercomacra cinerascens	x		
		Myrmoborus leucophrys		x	
		Myrmoborus myotherinus	x	x	x
		Myrmoborus melanurus			x

	Myrmoborus lophotes			x
	Hypocnemoides maculicauda			x
	Sclateria naevia		x	x
	Myrmelastes leucostigma			x
	Sciaphylax hemimelaena	x	x	x
	Akletos goeldii		x	x
	Hafferia fortis		x	
	Myrmophylax atrothorax	x	x	x
	Hylophylax naevius	x	x	x
	Willisornis poecilinotus			x
	Phlegopsis nigromaculata	x		
CONOPOPHAGIDAE	*Conopophaga peruviana*		x	
GRALLARIIDAE	*Myrmothera berlepschi*		x	
	Myrmothera campanisona		x	
RHINOCRYPTIDAE	*Liosceles thoracicus*	x	x	
FORMIICARIIDAE	*Formicarius analis*	x	x	x
	Formicarius rufifrons			x
	Chamaeza campanisona	x		
FURNARIIDAE	*Sclerurus caudacutus*		x	x
	Dendrocolaptes certhia			x
	Xiphocolaptes promeropirhynchus	x		
	Xiphorhynchus guttatus	x	x	x
	Campylorhamphus trochilirostris	x		
	Lochmias nematura	x		
	Anabazenops dorsalis			x
	Syndactyla ucayalae		x	
	Automolus melanopezus			x
	Automolus ochrolaemus		x	x

	Automolus subulatus		x	
	Cranioleuca gutturata			x
PIPDRIDAE	*Tyranneutes stolzmanni*	x		
	Ceratopipra chloromeros	x	x	x
COTINGIDAE	*Rupicola peruvianus*		x	
	Querula purpurata			x
TITYRIDAE	*Laniocera hypopyrra*		x	
	Pachyramphus polychopterus			x
OXYRUNCIDAE	*Oxyruncus cristatus*	x		
TYRANNIDAE	*Piprites chloris*	x	x	x
	Corythopis torquatus	x	x	x
	Mionectes oleaginous	x		
	Mionectes macconnelli			x
	Leptopogon amaurocephalus		x	x
	Tolmomyias viridiceps		x	
	Myiornis ecaudatus	x	x	x
	Lophotriccus pileatus		x	
	Hemitriccus cohnhafti			x
	Hemitriccus flammulatus			x
	Hemitriccus griseipectus	x	x	x
	Hemitriccus iohannis		x	x
	Todirostrum chrysocrotaphum	x	x	x
	Zimmerius gracilipes	x	x	x
	Myiopagis gaimardii	x	x	x
	Ornithion inerme	x	x	
	Attila bolivianus		x	
	Attila spadiceus	x		
	Legatus leucophaius	x		x

	Ramphotrigon megacephalum			x
	Ramphotrigon fuscicauda			x
	Myiozetetes granadensis	x	x	x
	Myiarchus ferox		x	
	Lathrotriccus euleri		x	
VIREONIDAE	*Hylophilus thoracicus*	x		
	Tunchiornis ochraceiceps	x		x
	Pachysylvia hypoxantha	x		
CORVIDAE	*Cyanocorax violaceus*	x	x	x
	Cyanocorax cyanomelas		x	
TROGLODYTIDAE	*Microcerculus marginatus*	x	x	x
	Pheugopedius genibarbis			x
	Cantorchilus leucotis		x	x
POLIOPTILIDAE	*Microbates cinereiventris*	x	x	x
TURDIDAE	*Turdus albicollis*	x	x	x
FRINGILLIDAE	*Euphonia chrysopasta*		x	
	Euphonia xanthogaster		x	
	Euphonia rufiventris	x		x
PASSERELLIDAE	*Arremon taciturnus*		x	x
ICTERIDAE	*Psarocolius angustifrons*	x	x	
	Psarocolius atrovirens	x	x	
	Psarocolius decumanus	x	x	x
	Psarocolius bifasciatus	x	x	x
	Cacicus cela		x	
	Cacicus latirostris		x	
	Cacicus oseryi	x	x	x
PARULIDAE	*Myiothlypis fulvicauda*	x	x	x
	Myiothlypis chrysogaster	x	x	x

	Myioborus miniatus	x		x
CARDINALIDAE	*Chlorothraupis frenata*	x	x	
	Cyanoloxia rothschildii	x	x	x
THRAUPIDAE	*Lanio fulvus*			x
	Lanio versicolor	x	x	x
	Dacnis flaviventer			x
	Saltator maximus	x	x	
	Saltator coerulescens		x	
	Saltator grossus		x	
	Coereba flaveola	x		
	Tangara chilensis	x	x	x
	Tangara schrankii	x	x	x

Anexo 3. Paneles fotográficos de los tres tipos de bosque en la Reserva de Biosfera del Manu

Foto 1. Bosque intervenido: Águanos (AGU)

Foto 2. Bosque manejado: Estación de investigación Manu Learning Centre (MLC)

Foto 3. Bosque primario conservado: Cuenca del rio Piñi Piñi (PNM)