

## Consultoría Sixaola 17-31102024



**Identificar la distribución y diversidad taxonómica de las aves en diferentes usos del suelo, tales como plantaciones de musáceas y áreas boscosas, mediante el uso de bases de datos como eBird y herramientas de análisis espacial.**

Autores: Emmanuel Arias<sup>1</sup>, Hanzel León<sup>2</sup>, Carlos Saito<sup>3</sup>, Nelson Zamora<sup>4</sup>.

## **Estado del arte**

La cuenca del río Sixaola, ubicada en la frontera entre Costa Rica y Panamá, es una región dinámica que destaca por su alta biodiversidad y riqueza en recursos naturales (Rodríguez-Echavarría, 2019). Esta zona alberga una variedad de ecosistemas, como bosques tropicales, tierras bajas, humedales, costas, playas, áreas abiertas y el propio río Sixaola, lo que la convierte en un hábitat vital para la flora y fauna de la región.

En Costa Rica y en Panamá, se han realizado diversos esfuerzos para comprender mejor la diversidad de aves. Por ejemplo, se llevaron a cabo muestreos mediante observación directa en distintos puntos de ecosistemas alterados del Caribe sur, desde Moín hasta Cahuita (Arguedas & Céspedes, 2015). Asimismo, se realizaron conteos de aves en transectos de 30 a 50 metros en la costa del Pacífico, específicamente en los distritos de Bahía Ballena y Puerto Cortés (Villegas-Arguedas, 2019). Además, existen estudios sobre la distribución altitudinal de la riqueza y diversidad de aves en turberas de las partes altas de Costa Rica, con puntos de observación establecidos durante las estaciones seca y lluviosa (Gastezzi-Arias, Martínez-Araya & Jones-Román, 2021). En Chiriquí, Panamá, se ha investigado cómo la abundancia y diversidad de aves varía en sistemas agroforestales, comparando áreas de bosque, cultivos bajo sombra y cultivos no sombreados (Myers, 2018). También se han analizado las comunidades de aves en paisajes agrícolas diversos (Jones, 2014).

En la cuenca del río Sixaola se encuentran importantes áreas silvestres protegidas, como el Parque Internacional La Amistad, el Refugio de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo y territorios indígenas como Bribri, Cabécar, Telire y Keköldi, en Costa Rica, así como las Comarca Ngäbe Buglé, la Comarca Naso Tjër Di y el Pueblo Bribri de Panamá (Figura 1).

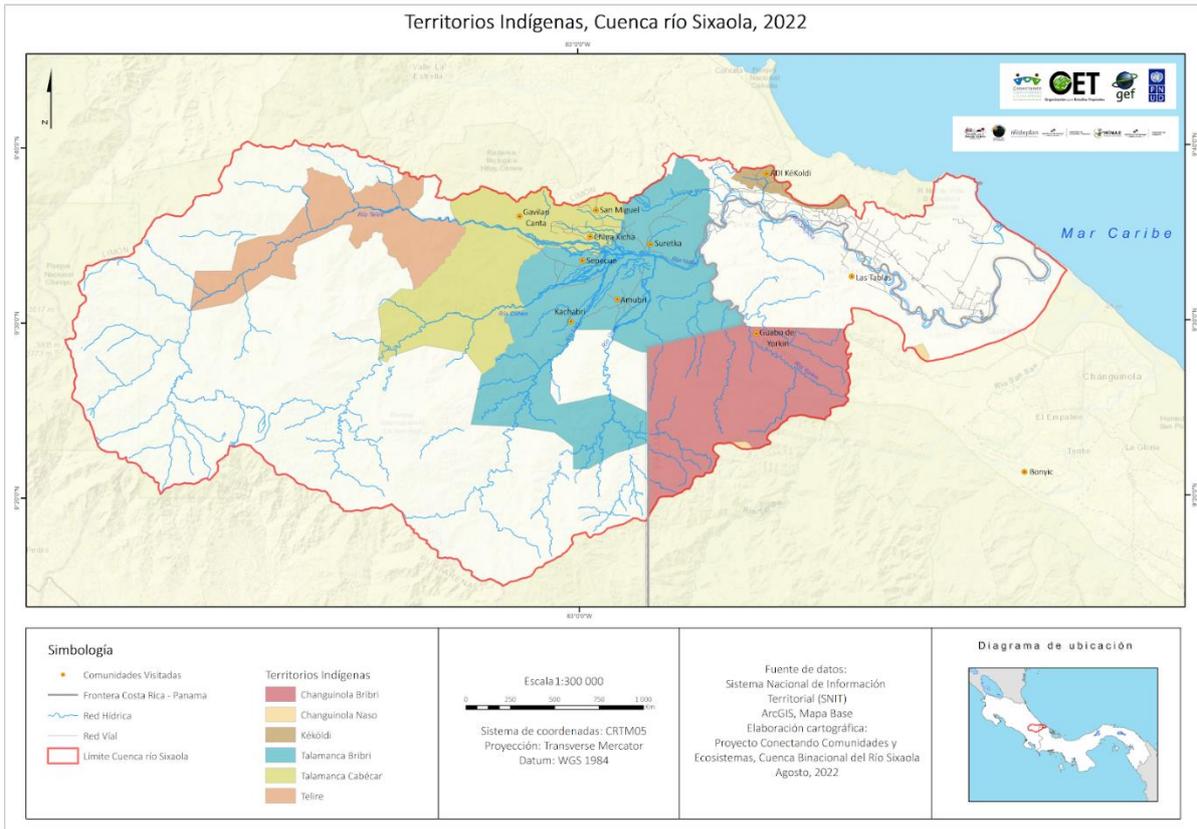


Figura 1. Territorios indígenas de la cuenca del río Sixaola.

Además, en sus cercanías se localizan la Reserva Biológica Hitoy Cerere, el Parque Nacional Cahuita y el Bosque Protector Palo Seco. Existen, asimismo en la cuenca, diferentes declaraciones de protección de parte de la UNESCO y de RAMSAR (Figura 2).

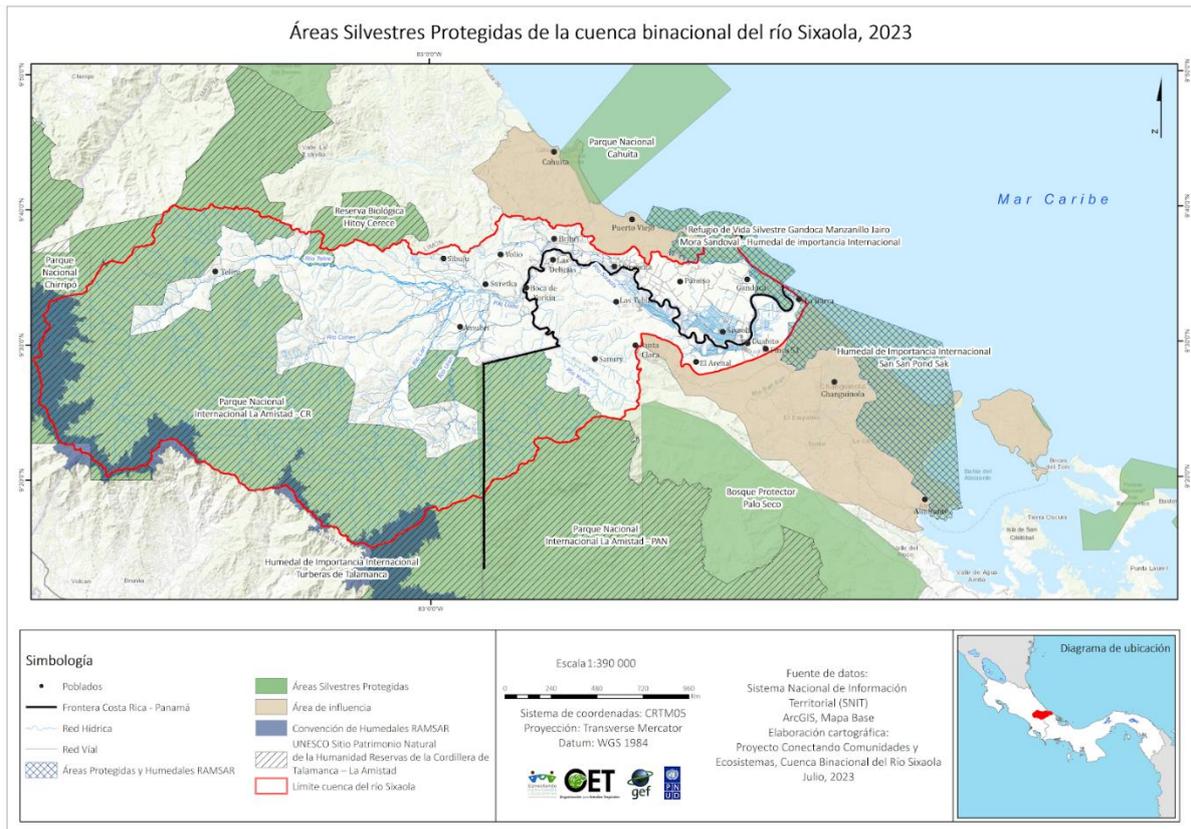


Figura 2. Áreas Silvestres Protegidas de la cuenca del río Sixaola.

Gracias a estas características, la cuenca cuenta con una amplia extensión de áreas prístinas dedicadas a la protección y conservación de la fauna local. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos derivados del aumento de la deforestación, las actividades agrícolas y pecuarias, la fragmentación del hábitat, el cambio de uso del suelo y el desarrollo de infraestructura (BirdLife International, 2022; ACLAC, 2017).

Entre las principales actividades agrícolas de la región destaca el cultivo de musáceas, tanto en el lado costarricense como en el panameño. Este cultivo es una de las principales fuentes de sustento para muchas familias del Caribe sur (Sánchez-Brenes & Arboleda-Julio, 2021; Rodríguez, Julio, Quesada & de Joode, 2023). Sin embargo, su producción implica el uso intensivo de agroquímicos, lo que contamina las aguas superficiales y afecta negativamente a la fauna circundante (Castillo et al., 2007).

## Introducción

La cuenca del río Sixaola, ubicada en la región fronteriza entre Costa Rica y Panamá, es un área de gran relevancia en la ecología y cultura para ambos países. Debido a su gran variedad de ecosistemas, desde el páramo y bosques de altura hasta las tierras bajas y sus playas, posee una gran biodiversidad. En esta cuenca se encuentra integrado el Corredor Biológico Talamanca Caribe, que conecta áreas protegidas y facilita la migración de flora y fauna, consolidándose como un espacio clave para la biodiversidad regional (ACLAC, 2017).

En las partes altas de la cuenca, especialmente en la en los páramos de la cordillera de Talamanca existe aproximadamente una riqueza de 84 especies de aves, que representa un 9 % de las aves del territorio costarricense, no obstante, posee un alto endemismo, siendo este de un 54 % (38 especies) al compararlas con las 70 especies residentes. Mientras que en las partes bajas de Gandoca-Manzanillo y Sixaola, se registra una diversidad de 377 especies, que representa un 41 % de la avifauna de Costa Rica, y posee un 6 % (16 especies) de endemismo, por lo general compartido con países cercanos como Panamá (Museo Nacional de Costa Rica). Por esta razón las aves han sido objeto de numerosos estudios en Costa Rica debido a su papel fundamental en los ecosistemas. Estas especies desempeñan funciones clave, como la dispersión de semillas, el control de plagas y la polinización. Además, tienen un importante valor económico como atracción para el sector del aviturismo y, especialmente, como indicadores de la salud de los ecosistemas donde habitan (BirdLife International, 2022).

Sin embargo, la cuenca del río Sixaola es una zona de intensa producción agrícola concentrada en el monocultivo de plátano y banano para exportación. De la misma forma, la extracción de madera es una actividad económica que se desarrolla a lo largo del cantón de Talamanca y el distrito de Changuinola que conlleva al aprovechamiento ilegal y por ende a la deforestación y fragmentación (OET, PNUD, Oficina Costa Rica y Oficina Panamá, 2023).

Por lo tanto, el presente estudio se enfoca en evaluar el estado de las poblaciones de aves de la cuenca, especialmente en el territorio costarricense, con el objetivo de comprender su diversidad, distribución y necesidades de conservación, haciendo uso de eBird y utilizando herramientas como QGIS y R Project.

## Objetivo general

- Identificar la distribución y diversidad taxonómica de las aves en diferentes usos del suelo, tales como plantaciones de musáceas y áreas boscosas, mediante el uso de bases de datos como eBird y herramientas de análisis espacial.

## Objetivos específicos

- Identificar la diversidad taxonómica de las aves mediante la determinación del número de especies por familia en cada tipo de uso del suelo (musáceas, bosque u otros), con el fin de comprender cómo se distribuyen las aves en las diferentes áreas de uso.
- Clasificar las especies de aves por grupo alimenticio, identificando su dieta (herbívoros, insectívoros, frugívoros, etc.) para entender las dinámicas ecológicas y el rol funcional que desempeñan en los ecosistemas del área de estudio.
- Clasificar las especies según el grado de amenaza o de importancia para la conservación, utilizando la lista roja de la UICN, CITES y listado de especies en peligro de extinción y poblaciones reducidas (MINAE).
- Generar mapas de “hotspots” de biodiversidad que permitan visualizar y localizar zonas con alta concentración de especies, esenciales para la planificación de acciones de conservación en el área de estudio.
- Calcular índices de diversidad para cuantificar y comparar la riqueza, abundancia y frecuencia de las especies en las distintas áreas de uso del suelo.

## Metodología

### Base de datos y área de estudio

Los datos empleados en este estudio se obtuvieron de la plataforma eBird (Cornell Lab of Ornithology, 2023), que ofrece registros globales y regionales sobre la avifauna. Para el análisis, se seleccionaron registros históricos de presencia y ausencia de aves, aplicando criterios temporales y espaciales relevantes para los objetivos del estudio. El área de estudio comprendió el territorio costarricense de la cuenca binacional del río Sixaola, caracterizada por una diversidad de usos del suelo, que incluyen monocultivos agrícolas, áreas de bosques y espacios urbanos. La cuenca del río Sixaola abarca una extensión de 2,309.21 km<sup>2</sup> y presenta una notable variabilidad climática. La precipitación media anual oscila entre 1,500 y 2,000 mm en la parte alta, entre 3,000 y 5,000 mm en la parte media, y entre 2,000 y 3,000 mm en la parte baja. La temperatura media anual varía entre 22°C y 28°C, dependiendo de la altitud (MINAE-IMN, 2011).

En términos de zonas de vida, la parte alta de la cuenca corresponde a bosque pluvial montano. A medida que desciende la elevación, la clasificación cambia a bosque pluvial montano bajo y posteriormente a bosque pluvial premontano. En la parte media de la cuenca predominan el bosque muy húmedo premontano y el bosque muy húmedo tropical. Finalmente, la parte baja se caracteriza por bosque muy húmedo premontano en transición a basal, así como bosque húmedo tropical (MINAE-IMN, 2011).

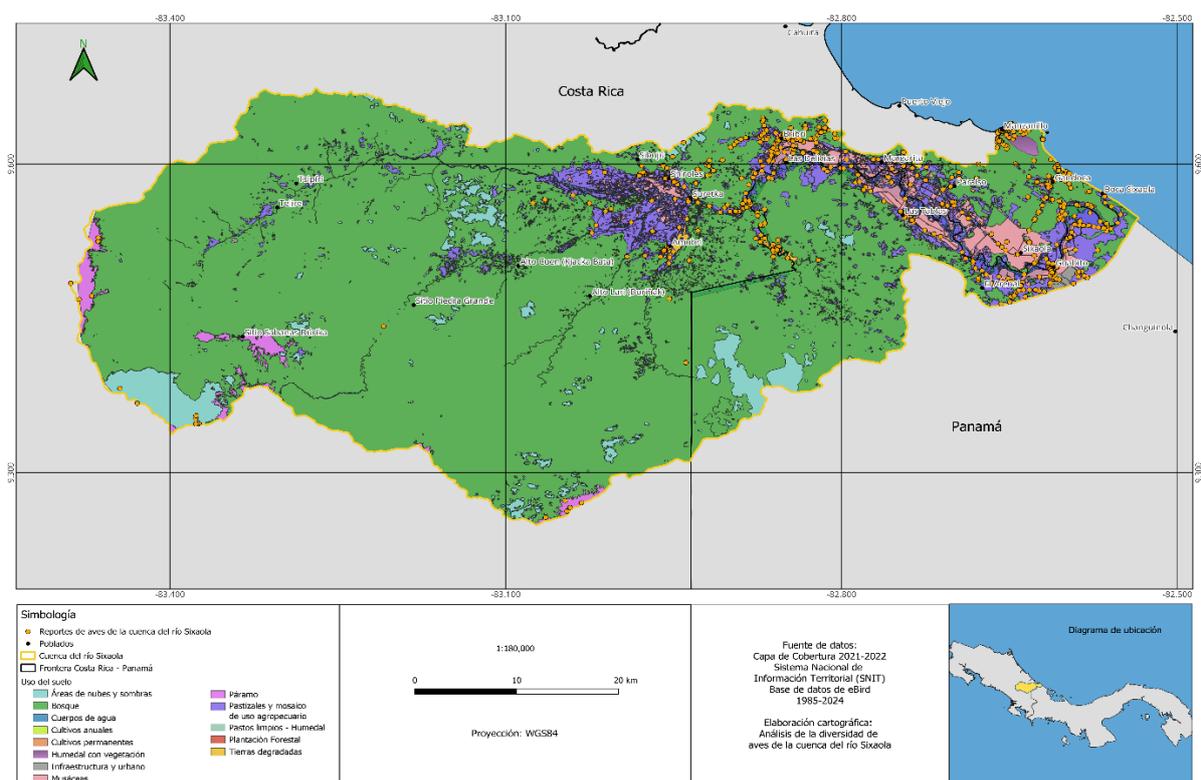


Figura 3. Delimitación y usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.

## Procesamiento de datos

Los datos recopilados fueron sometidos a un proceso riguroso de depuración para garantizar su validez taxonómica. En primer lugar, la base de datos fue procesada utilizando una hoja de cálculo en Excel, donde se llevaron a cabo análisis descriptivos mediante tablas dinámicas y gráficos. Se eliminaron todos aquellos registros en los que no se podía determinar con certeza la especie, con el fin de evitar una sobreestimación del número de especies. Por ejemplo, reportes como *Accipiter* sp., *Contopus sordidulus/virens*, *Egretta/Ardea* sp. o new world flycatcher sp. fueron descartados, ya que estas especies posiblemente ya estaban representadas en la lista analizada. A la base de datos final se le añadieron las familias y órdenes de cada especie, según la información de eBird y la guía Aves de Costa Rica (Garrigues & Dean, 2014). Posteriormente, para cada registro de aves, se determinó el uso del suelo en el que fue reportado, contrastando los puntos de observación con la capa de cobertura correspondiente a 2021-2022. Este análisis se realizó en QGIS 3.34.13 utilizando la herramienta de geoprocésamiento "Unir atributos por localización". Como resultado, se identificaron los siguientes usos del suelo:

- Musáceas: incluye el cultivo de banano y plátano.
- Bosque: incluye las categorías de bosque, bosque de tierras bajas y bosque secundario. Se unieron estas tres categorías debido a que comparten características forestales, como cobertura de dosel, refugio de fauna y la biodiversidad asociada.
- Infraestructura y urbano: incluye las categorías de infraestructura dispersa, urbano/infraestructura y carreteras. Estos usos tienen en común altos niveles de intervención humana, pérdida de cobertura natural y su influencia en procesos ecológicos, como la fragmentación del hábitat.
- Pastizales y mosaicos de uso agropecuario: incluye las categorías de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, pastos limpios y pastos arbolados. Todos son usos de tierras predominantemente dedicados a la ganadería o agricultura, con diferencias en la heterogeneidad estructural (presencia o ausencia de árboles).
- Cuerpos de agua: incluye las categorías de cuerpos de agua y playón de río. Ambos usos están fuertemente relacionados al agua o zonas húmedas.
- Páramo: este uso se encuentra solo por ser un ecosistema único.
- Cultivos permanentes: área principalmente agrícola de cultivos a largo plazo
- Humedal con vegetación: uso del suelo compuesto por un ecosistema especial.
- Tierras degradadas: incluye las categorías de tierras degradadas y charrales. Ambos usos comparten características de baja cobertura arbórea y condiciones más deterioradas en términos de suelo o regeneración limitada.

Adicionalmente, los puntos que fueron clasificados como Áreas cubiertas de nubes y sombras por el programa, se categorizaron de manera manual según la cobertura más cercana e imágenes satelitales que permitieran determinar el uso del suelo. Se debe aclarar, que de primera instancia se creó una base de datos y un mapa que toma todos los registros de eBird desde el año 1985 hasta el 2024. Luego se realizó un análisis en tres periodos: desde el año 1985 hasta el 2005 con la capa de cobertura del 2005 (este excluye el territorio panameño), otro desde el 2006 hasta el año 2011 con la capa de cobertura del 2011 y, el último, desde el 2012 hasta el año 2024 con la capa de cobertura 2021-2022.

La información sobre la dieta de cada especie se obtuvo a través del sitio web Birds of the World, una plataforma vinculada a eBird que proporciona una amplia base de datos sobre las aves a nivel mundial. Las dietas se categorizaron según la dieta principal de cada especie, dado que muchas aves presentan combinaciones dietéticas y no se limitan a un único tipo de alimento. Para este análisis, se utilizó la clasificación propuesta por Castaño y Patiño (2007, citado en Jiménez, 2013).

- Carnívoros: Comen carne tanto de animales vertebrados como de invertebrados.
- Herbívoros: Se alimentan de hojas, brotes y otras partes de plantas como semillas y frutos.
- Omnívoros: Incluyen en su dieta una mezcla de plantas, semillas, frutas, así como animales, insectos y peces. Aquellas especies que se encuentran aquí no tienen una inclinación clara por alimentos herbívoros o carnívoros.
- Granívoros: Muestran una preferencia clara por las semillas y los granos.
- Frugívoro: Su dieta está basada principalmente en frutos.
- Insectívoros: Consumen especialmente diferentes clases de invertebrados como insectos y artrópodos, que pueden ser acuáticos o terrestres.
- Nectarívoros: Se alimentan del néctar que proveen las flores.
- Piscívoros: Comen principalmente peces de agua dulce o salada.
- Carroñeros: Son las especies que consumen animales muertos (carroña).
- Malacófagos: Se alimentan especialmente de moluscos o caracoles.

Además, se asignó a cada especie su estatus, es decir, si es residente, migratoria o si presenta alguna condición especial, como ser accidental o llegar al país únicamente para reproducirse. Esta información fue determinada utilizando una base de datos disponible en la página web de la Asociación Ornitológica de Costa Rica (Garrigues et al, 2024), la guía de Aves de Costa Rica (Garrigues & Dean, 2014). y con el apoyo de eBird.

- Residente: La especie se reproduce y se mantiene durante todo el año en los países. Con 2 excepciones, *Quiscalus lugubris* que no está reportada para Costa Rica y

*Melanerpes hoffmannii* que no está determinado su estado actual en Panamá, pero existen algunos reportes en eBird.

- Migratorio: Al menos una parte de la población de la especie pasa la temporada de no reproducción en el país (también llamados residentes de invierno), aunque una parte de la población sean migratorios de paso.
- Reproductivo residente: La especie se reproduce en el país, pero migra fuera de él una vez finalizada la temporada de reproducción.
- Endémica: La especie posee un rango de distribución limitado a Costa Rica y Panamá, o al menos, la distribución de la especie está confinada a algunos países de Centroamérica.
- Accidental: Se desconoce si la especie se reproduce en el sitio, y generalmente no se espera su presencia anual. El estado de la especie en el lugar reportado es incierto.

Para determinar el estado de amenaza de cada especie, se consultó la base de datos de CITES en su página web, donde se filtraron las especies presentes en este acuerdo para Costa Rica y Panamá. A continuación, se clasificó cada especie según la Lista Oficial de Especies en Peligro de Extinción y con Poblaciones Reducidas y Amenazadas del SINAC para el 2017 (R-SINAC-CONAC-092-2017). Este documento establece que todas las especies incluidas en el Apéndice II de CITES son catalogadas como especies con poblaciones reducidas. Además, se asignó a cada especie el grado de amenaza correspondiente, según la clasificación de lista roja de la UICN (2024), verificando su estado de conservación en la página de Birds of the World.

### **Análisis estadístico**

Posteriormente, utilizando el software R versión 4.4.2 de R Project, se generó un mapa de calor o de puntos de concentración ("Hotspots") para visualizar cómo se distribuyen las especies en la cuenca del río Sixaola.

Para calcular los índices de diversidad, también se empleó el software R. Algunos de estos índices fueron obtenidos mediante funciones y códigos disponibles en paquetes de R, específicamente, el paquete "Vegan". La base de datos se organizó de manera que las especies y su abundancia se representaran como columnas, mientras que las filas correspondieran a los diferentes usos del suelo, de acuerdo con la capa de cobertura para la cuenca del río de Sixaola. En el caso del índice de Jaccard, la base de datos de abundancia se transformó en una matriz de presencia/ausencia para facilitar el análisis. Los índices evaluados fueron: Hill, Simpson, Shannon-Wiener, Pielou, Margalef, Bray-Curtis y Jaccard. En el caso de Pielou (Magurran, 1988) y Margalef (Delgado, 2020) se calcularon de manera manual con las siguientes fórmulas:

### Índice de Margalef

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N} \quad (1)$$

Donde:

S: número de especies

N: número total de individuos

### Índice de Pielou

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \quad (2)$$

Donde:

H': índice de Shannon-Wiener

S = número total de especies

Además, a cada índice se le aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (Alpha = 0.05) para evaluar si existía diferencia estadística entre los usos del suelo.

## Resultados

Se registraron 551 especies para la cuenca del río Sixaola, distribuidas en 73 familias y 25 órdenes. La familia Tyrannidae es la más diversa, con 54 especies, seguida por Thraupidae con 38 especies y Parulidae con 36 especies, que representan el 9.80 %, 6.90 % y 6.53 % del total, respectivamente (Figura 4).

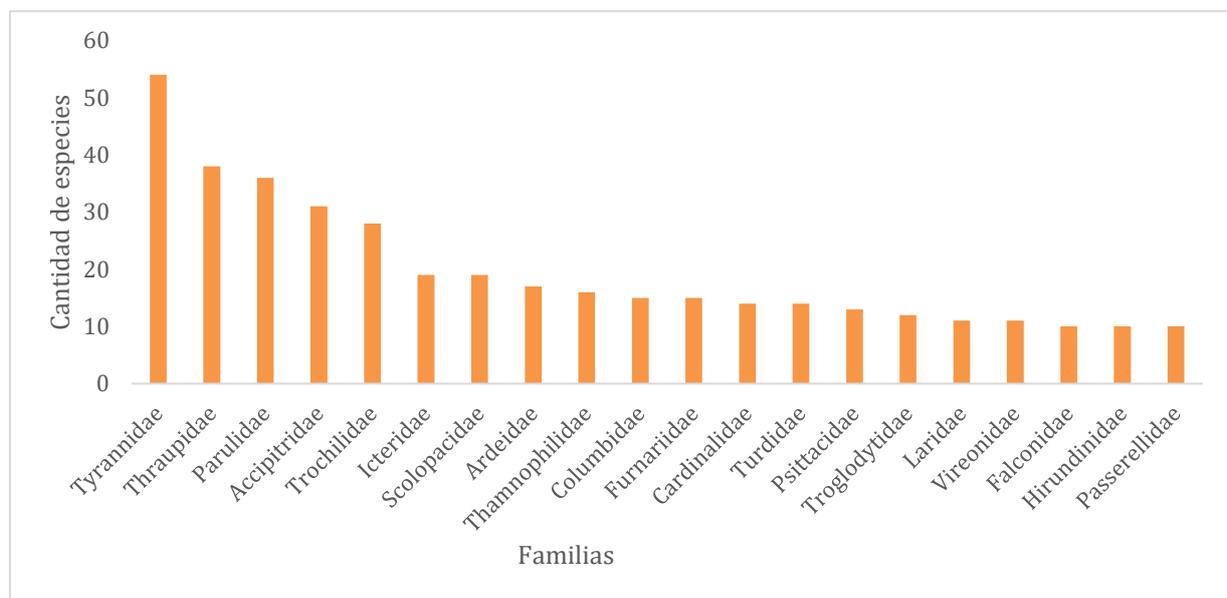


Figura 4. Cantidad de especies para las 20 familias más representativas de la cuenca del río Sixaola.

En cuanto al número de individuos (Figura 5 y Figura 6), las especies más abundantes fueron *Coragyps atratus* con 2,151, *Pitangus sulphuratus* con 2,020, *Melanerpes pucherani* con 1,898, *Psarocolius montezuma* con 1,821, *Tyrannus melancholicus* con 1,622 y *Cathartes aura* con 4,512 individuos. Por familias, Tyrannidae lideró con 12,482 individuos, seguida por Thraupidae con 11,731 e Icteridae con 5,984, representando el 11.98 %, 10.94 % y 5.58 % del total, respectivamente.

 <p>©Christoph Moning</p>	 <p>©Luke Seitz</p>	 <p>©Roger Ahlman</p>
<p><i>Coragyps atratus</i> Zopilote</p>	<p><i>Pitangus sulphuratus</i> Pecho amarillo, cristofué</p>	<p><i>Melanerpes pucherani</i> Carpintero cara negra</p>
 <p>©Jeff Maw</p>	 <p>©Daniel Irons</p>	 <p>©Matt Davis</p>
<p><i>Psarocolius montezuma</i> Oropéndola montezuma</p>	<p><i>Tyrannus melancholicus</i> Tirano melancólico</p>	<p><i>Cathartes aura</i> Zopilote, gallinazo</p>

Figura 5. Las seis especies más abundantes de la cuenca del río Sixaola.

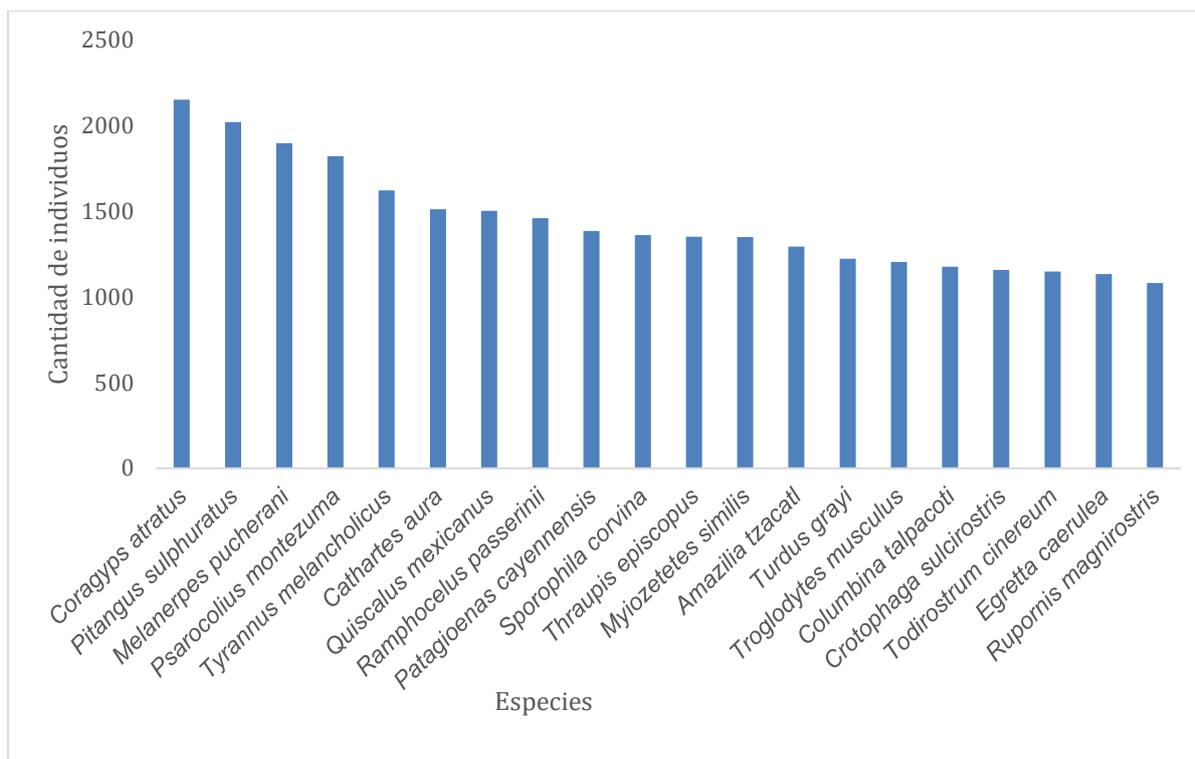


Figura 6. Cantidad de individuos para las 20 especies más representativas de la cuenca del río Sixaola.

En el cuadro 1 se muestra la cantidad de especies según su estatus. La mayoría son residentes, con un total de 366 especies, lo que equivale al 66.42 %, es decir, más de la mitad de las especies para la cuenca. Además, 50 de estas especies son residentes endémicas, lo que representa un 9.07 % de endemismo. Las especies migratorias ocupan el segundo lugar con 124 especies (22.50 %). Mientras que en la figura 7 se observa la representación porcentual de cada grupo según su estatus.

Cuadro 1. Cantidad de especies según su estatus para la cuenca del río Sixaola.

<b>Estatus</b>	<b>Cantidad de especies</b>
Accidental	6
Endémica	50
Migratorio	124
Reproductivo residente	5
Residente	366
<b>Total de especies</b>	<b>551</b>

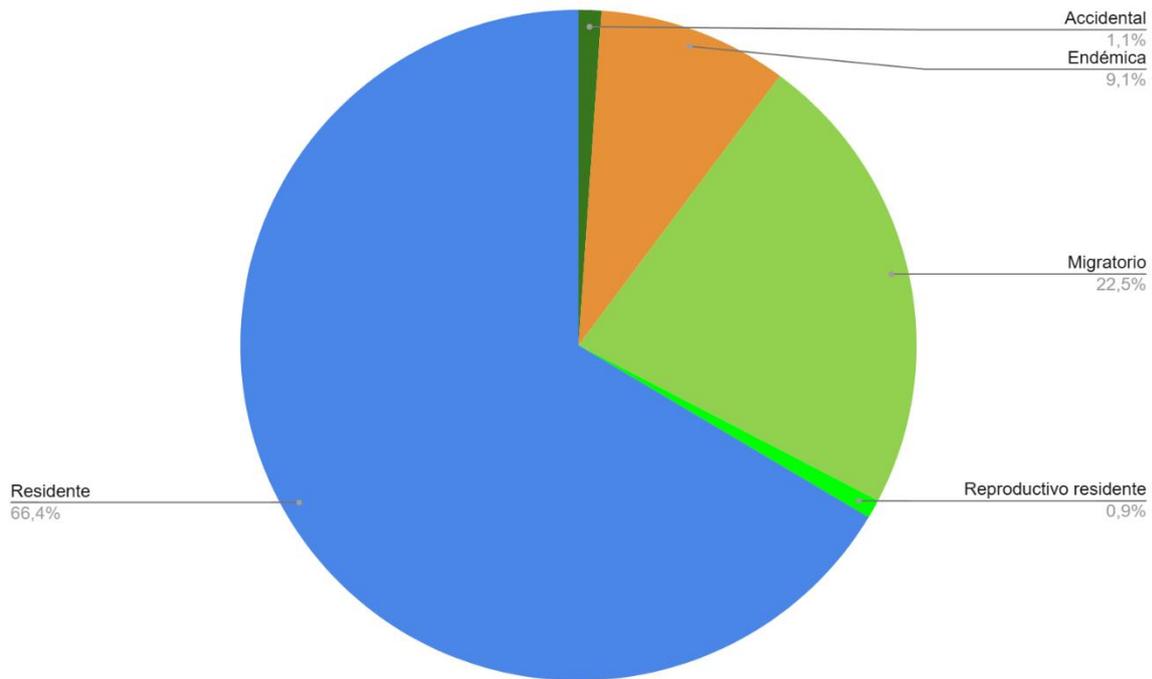


Figura 7. Representación porcentual de las especies según su estatus para la cuenca del río Sixaola.

### Diversidad taxonómica de las aves según el uso del suelo

En el Cuadro 2 se presenta la cantidad de especies distribuidas en 73 familias según las categorías de uso del suelo en la cuenca del río Sixaola. La categoría de uso Bosque registra la mayor diversidad, con 488 especies y 69 familias, lo que representa el 88.57 % de las especies y el 94.52 % de las familias identificadas en el estudio. En segundo lugar, los Pastizales y mosaicos agropecuarios albergan 408 especies en 63 familias, correspondientes al 74.05 % de las especies y el 86.30 % de las familias. Por otro lado, las categorías con menor representación son Cultivo permanente, con 40 especies (7.26 %) y 16 familias (21.92 %), y Páramo, con 31 especies (5.63 %) y 19 familias (26.03 %).

### Grupo alimenticio de las especies

La Figura 8 presenta la distribución de especies según su tipo de dieta. La mayoría de las especies son insectívoras, con un total de 241, seguidas por las omnívoras con 104. las frugívoras con 58 especies y, muy cercana, la dieta carnívora con 57 especies. Por otro lado, hay 5 especies herbívoras, 5 malacófagas y 3 carroñeras, siendo estas las que poseen la menor de cantidad de especies. Dentro de las especies insectívoras, la familia Tyrannidae lidera con 47 especies, seguida por la familia Parulidae con 36 especies y, en tercer lugar, la familia Scolopacidae con 18 especies.

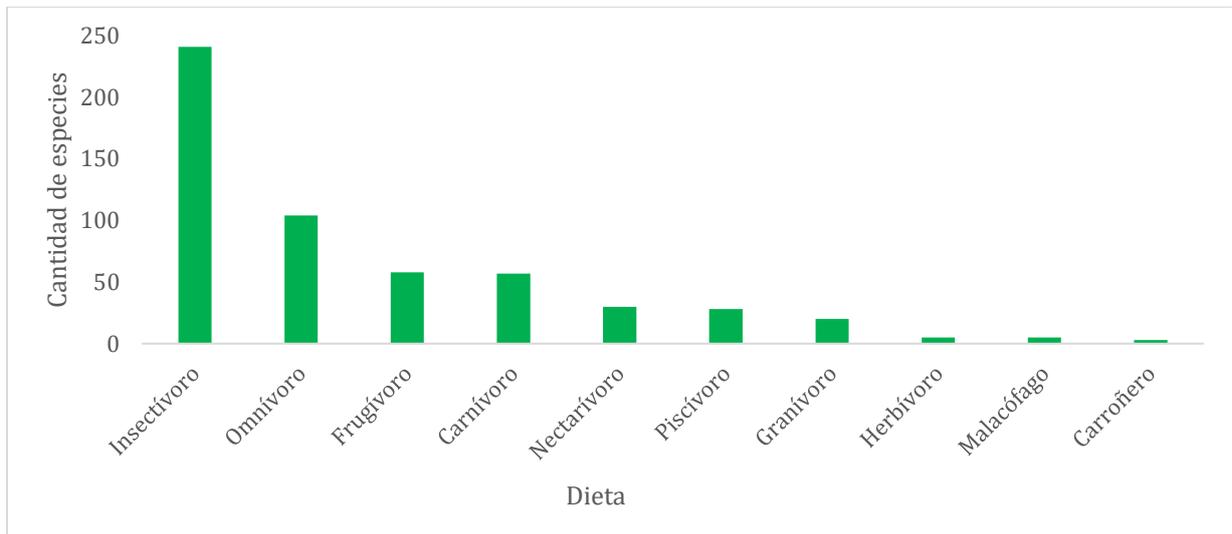


Figura 8. Cantidad de especies según el grupo alimenticio encontradas en la cuenca del río Sixaola.

Cuadro 2. Cantidad de especies por familia según el uso del suelo para la cuenca del río Sixaola.

Familias	Bosques	Pastizales y mosaico	Infraestructura y mosaicos	Cuerpos de agua	Musáceas	Tierras degradadas	Humedal con vegetación	Cultivo permanente	Páramo
Accipitridae	26	26	27	18	9	3	5	1	0
Alcedinidae	6	6	6	6	3	0	0	0	0
Anatidae	4	5	5	4	3	2	0	0	0
Anhingidae	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Apodidae	7	9	8	5	3	2	0	0	2
Aramidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ardeidae	14	15	15	11	9	7	6	2	0
Bucconidae	4	4	4	3	0	1	0	0	0
Burhinidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Caprimulgidae	4	4	4	4	0	1	1	0	0
Cardinalidae	14	8	10	10	7	3	1	1	0
Cathartidae	3	3	3	3	3	2	3	0	0
Charadriidae	5	6	6	6	0	2	1	0	0
Ciconiidae	2	2	2	2	1	0	0	0	0
Columbidae	12	11	10	9	7	6	2	1	1
Conopophagidae	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Corvidae	2	2	2	2	1	1	0	1	0
Cotingidae	4	3	2	2	1	0	1	0	0
Cracidae	4	2	3	2	1	1	0	0	0
Cuculidae	6	5	5	3	3	2	2	0	0
Eurypygidae	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Falconidae	10	9	9	7	2	2	0	0	0
Formicariidae	1	1	1	1	0	1	0	0	0
Fregatidae	1	1	1	1	0	0	1	0	0
Fringillidae	6	4	4	4	3	2	1	1	0

Furnariidae	15	8	9	9	4	3	3	0	1
Galbulidae	2	1	2	0	0	0	0	0	0
Grallariidae	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Heliornithidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Hirundinidae	9	10	9	9	6	1	1	1	0
Icteridae	17	18	16	14	10	6	6	4	1
Icteriidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Jacanidae	2	2	2	1	1	1	0	0	0
Laridae	8	8	6	6	0	0	0	0	0
Mimidae	2	2	2	2	2	0	0	1	0
Mitrospingidae	1	1	1	1	0	1	0	0	0
Momotidae	2	2	2	1	0	2	0	0	0
Nyctibiidae	2	2	2	2	0	0	0	0	0
Odontophoridae	2	0	1	0	0	0	0	0	1
Pandionidae	1	1	1	1	1	0	1	0	0
Parulidae	33	23	23	19	10	1	2	10	1
Passerellidae	10	2	2	2	1	1	2	0	5
Passeridae	1	1	1	1	0	2	0	0	0
Pelecanidae	1	1	1	1	0	0	1	0	0
Phalacrocoracidae	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Picidae	10	8	6	5	3	2	4	0	0
Pipridae	4	3	3	3	1	2	2	1	0
Podicipedidae	2	0	1	0	0	0	0	0	0
Poliptilidae	3	2	2	2	2	2	0	0	0
Psittacidae	10	11	8	8	8	4	5	1	0
Ptiliognatidae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Rallidae	7	9	9	5	5	3	0	0	0
Ramphastidae	4	3	3	3	3	2	3	0	1
Recurvirostridae	1	1	1	1	0	1	0	0	0

Rhinocryptidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Scolopacidae	14	17	14	13	8	4	3	0	1
Semnornithidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Stercorariidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Strigidae	7	5	6	4	0	0	0	0	1
Sulidae	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Thamnophilidae	16	13	14	12	8	4	4	0	0
Thraupidae	35	28	31	24	20	3	9	5	2
Threskiornithidae	4	3	2	2	0	0	0	0	0
Tinamidae	2	2	2	2	2	1	0	0	0
Tityridae	5	4	4	4	3	2	1	0	0
Trochilidae	25	18	18	14	7	5	6	3	2
Troglodytidae	10	9	9	8	4	4	4	2	3
Trogonidae	6	3	4	3	3	3	2	0	0
Turdidae	11	5	6	6	1	1	1	0	4
Tyrannidae	48	42	42	37	17	12	7	5	1
Tytonidae	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Vireonidae	8	6	8	5	1	1	0	0	1
Zeledoniidae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Cantidad especies</b>	<b>488</b>	<b>408</b>	<b>405</b>	<b>338</b>	<b>189</b>	<b>112</b>	<b>92</b>	<b>40</b>	<b>31</b>
<b>Cantidad de familias</b>	<b>69</b>	<b>63</b>	<b>62</b>	<b>59</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>19</b>

### Grado de amenaza para las especies

Del total de 551 especies analizadas, 4 se encuentran en la categoría de Vulnerable según la UICN: *Cypseloides niger* y *Chaetura pelagica* (familia Apodidae), *Procnias tricarunculatus* (familia Cotingidae) y *Crax rubra* (familia Cracidae).

 <p style="text-align: right;">© Michael Bolte</p>	 <p style="text-align: right;">© Peter F</p>
<p><i>Cypseloides niger</i> Vencejo negro</p>	<p><i>Chaetura pelagica</i> Vencejo de paso/chimenea</p>
 <p style="text-align: right;">© Fernando Burgalin Sequeria</p>	 <p style="text-align: right;">© Su Li</p>
<p><i>Procnias tricarunculatus</i> Pájaro campana</p>	<p><i>Crax rubra</i> Pavón, Pajuil</p>

Figura 9. Especies en estado de Vulnerable según la IUCN encontradas en la cuenca del río Sixaola.

En la categoría de Casi Amenazado, se identificaron 16 especies, predominando las de la familia Scolopacidae, como *Calidris subruficollis*, *C. pusilla* y *C. canutus*. La familia Parulidae ocupa el segundo lugar con dos especies migratorias: *Vermivora chrysoptera* y *Setophaga cerulea*. El resto de las especies están clasificadas como Preocupación Menor. En la Figura 10 se muestra la distribución de las aves según la clasificación de la UICN.

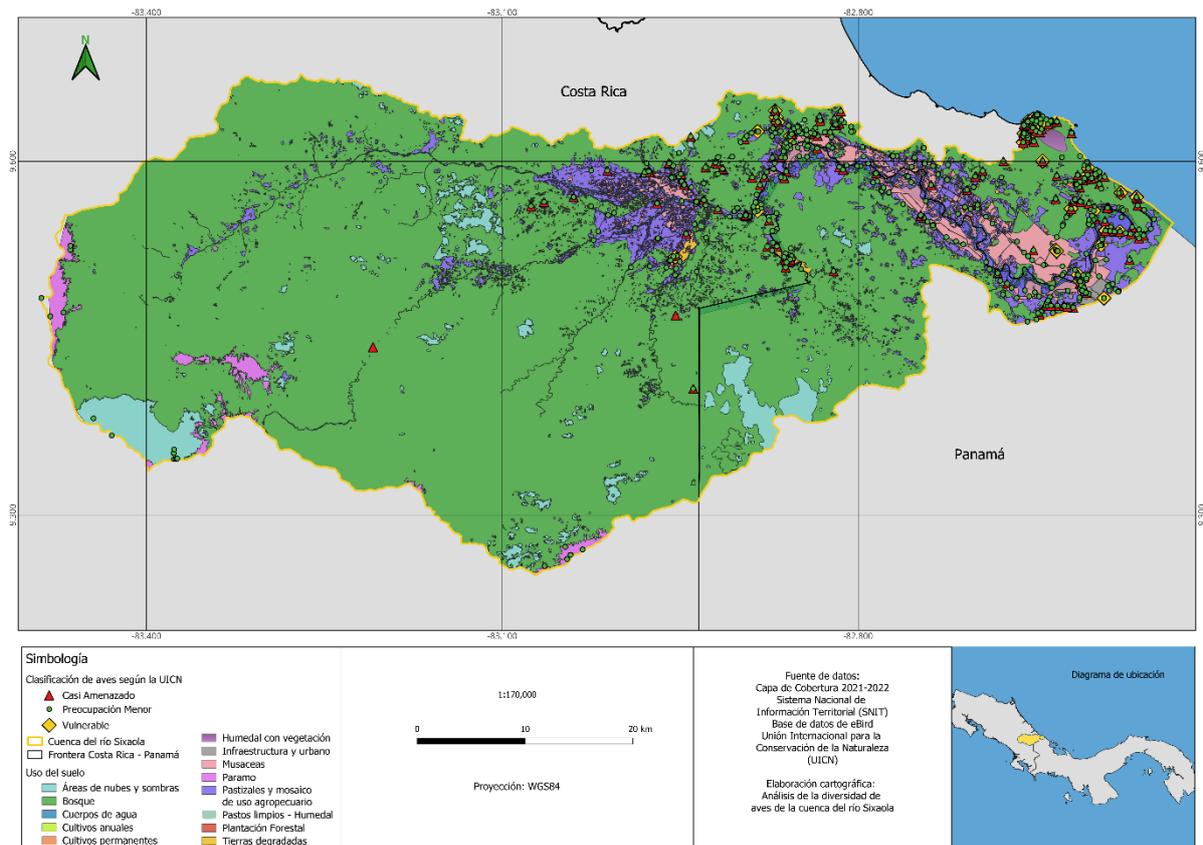


Figura 10. Distribución de las aves encontradas en la cuenca del río Sixaola, según la clasificación de la UICN.

En cuanto a la clasificación de CITES, 99 especies están incluidas en algún Apéndice. En el Apéndice I, se registraron tres especies, cada una representando una familia: Ciconiidae, Falconidae y Trogonidae. El Apéndice II incluye 8 familias, destacando Accipitridae con 31 especies, Trochilidae con 28 y Psittacidae con 13. En el Apéndice III, hay 4 familias, siendo Cracidae la única con dos especies; las otras familias tienen una especie cada una.

Respecto a la Lista Oficial de Especies en Peligro de Extinción y con Poblaciones Reducidas del SINAC, se identificaron 110 especies: 20 en peligro de extinción y 90 con poblaciones reducidas. Dentro de esta última categoría, las familias con mayor número de especies son Accipitridae (31 especies), Trochilidae (28 especies) y Psittacidae (13 especies), lo cual coincide con las familias predominantes en el Apéndice II de CITES. En el caso de las especies en peligro de extinción, 10 son endémicas y una de estas 10 está categorizada como Vulnerable (*Procnias tricarunculatus*).

### Puntos calientes o “hotspots” de biodiversidad

La Figura 11 muestra los puntos calientes de mayor concentración de reportes de especies de aves en la cuenca del río Sixaola, así como los polígonos de cultivos de musáceas (color rosado). Las áreas resaltadas en tonos más intensos de rojo indican una mayor abundancia

de registros, los cuales se concentran principalmente en localidades y zonas más desarrolladas, como Manzanillo, Sixaola, la frontera entre Costa Rica y Panamá, y, en menor medida, el pueblo de Bribri.

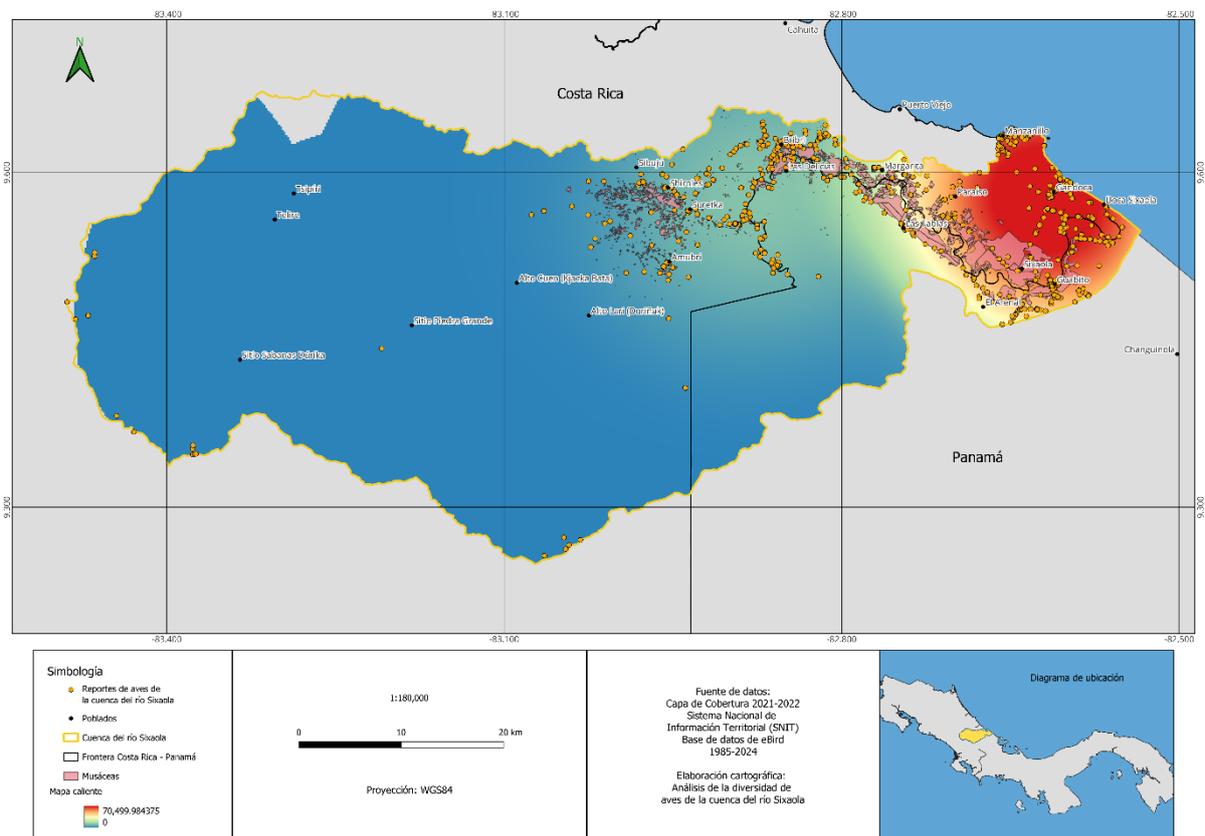


Figura 11. Distribución de los puntos calientes de aves y cultivos de musáceas para la cuenca del río Sixaola.

### Índices de diversidad para la cuenca en general y para cada uso del suelo.

En primer lugar, los datos obtenidos para la cuenca indican una alta diversidad de especies de aves en el sitio. El índice de Hill, con un valor de 6.31 para  $q = 0$ , refleja el número efectivo de especies presentes en la cuenca, sin tener en cuenta la abundancia. Este valor sugiere una gran riqueza de especies, lo que indica una comunidad diversa. Para  $q = 1$ , con un valor de 5.31 (índice de Shannon), el valor es menor que  $q = 0$ , lo que sugiere que algunas especies son dominantes, pero que no todas las especies tienen la misma representación en la comunidad. En el caso de  $q = 2$ , el valor disminuye, lo que indica que el índice se centra en las especies más abundantes, ignorando en gran medida a las especies raras. Este descenso en el valor en comparación con  $q = 1$  confirma que unas pocas especies dominan la comunidad.

Respecto a los demás índices, se tienen los siguientes resultados: El valor de 5.31 en Shannon sugiere una alta diversidad en la comunidad, lo que indica que las especies están

distribuidas de manera relativamente equitativa, con una presencia considerable de varias especies. El valor de 47.40 en Margalef, relativamente alto, sugiere que la comunidad tiene una gran riqueza de especies en comparación con el número total de individuos, lo que refuerza la idea de una comunidad muy diversa en cuanto a la cantidad de especies. El valor de 0.99 en Simpson indica una alta dominancia de unas pocas especies, lo que sugiere que, aunque la comunidad alberga muchas especies, algunas son mucho más abundantes que otras. Finalmente, el valor de 0.84 en Pielou indica una distribución bastante equitativa de los individuos entre las especies, aunque no es completamente equitativa. Esto implica que algunas especies pueden ser ligeramente más abundantes que otras, pero sin una diferencia desproporcionada.

Por otro lado, al realizar el análisis según los usos del suelo, se observan las siguientes tendencias generales: Los bosques presentan una alta diversidad de especies, lo que indica que la comunidad es equilibrada, con muchas especies y una representación similar entre ellas. Esto sugiere una alta probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes. El inverso de Simpson refuerza esta conclusión, ya que los valores cercanos a 1 indican una alta equidad. Un patrón similar se observa en los Pastizales y mosaicos agropecuarios y en Infraestructura y urbano, que también presentan una comunidad diversa y equilibrada.

En cuanto a los Cuerpos de agua, Musáceas, Tierras degradadas y Humedales con vegetación, la diversidad es moderada, pero la equidad es alta, lo que sugiere que, aunque la comunidad tiene varias especies, unas pocas dominan el ecosistema, adaptándose bien a estos entornos específicos. Finalmente, los cultivos permanentes y el páramo presentan la menor diversidad entre los diferentes usos del suelo. Esto podría explicarse por ser ecosistemas más simplificados, con una menor heterogeneidad que los otros. Sin embargo, presentan una alta equitatividad, lo que indica que las especies presentes tienen una representación más uniforme, lo que a su vez refleja una menor complejidad ecológica.

Cuadro 3. Índices de diversidad para cada uno de los usos del suelo para la cuenca del río Sixaola.

Uso del suelo	Hill 0	Hill 1	Hill 2	Shannon	Simpson	Inverso Simpson	Margalef	Pielou
Bosque	6.19	5.25	4.88	5.25	0.99	1.01	46.36	0.85
Pastizales y mosaicos de uso agropecuario	6.01	5.11	4.77	5.11	0.99	1.01	38.77	0.85
Infraestructura y urbano	6.00	5.18	4.79	5.18	0.99	1.01	40.43	0.86
Cuerpos de agua	5.82	5.07	4.69	5.07	0.99	1.01	36.35	0.87
Musáceas	5.26	4.83	4.52	4.83	0.99	1.01	27.93	0.92

Tierras degradadas	4.79	4.62	4.49	4.62	0.99	1.01	18.47	0.96
Humedal con vegetación	4.52	4.39	4.26	4.39	0.99	1.01	18.26	0.97
Cultivos permanentes	3.71	3.70	3.70	3.70	0.98	1.03	7.56	1.00
Páramo	3.43	3.03	2.69	3.03	0.93	1.07	6.97	0.88
Cuenca río Sixaola	6.31	5.31	4.95	5.31	0.99	1.01	47.40	0.84

Los índices de Shannon, Simpson, Inverso de Simpson, Margalef y Pielou se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis, la cual no evidenció diferencias significativas entre los distintos usos del suelo para ninguno de los índices evaluados ( $p$ -valor = 0.4335).

Continuando, al analizar el mapa de calor de similitud de Jaccard (Figura 12) para cada tipo de uso del suelo, se observa que la mayor similitud ocurre entre el páramo y los demás usos del suelo. Esto se debe a que sus valores están muy cercanos a 1, lo que indica que, aunque los ecosistemas sean muy diferentes, esta alta similitud podría atribuirse a un número limitado de especies adaptadas a las condiciones extremas del páramo y a la influencia de especies ampliamente distribuidas. Alternativamente, esta relación también podría reflejar limitaciones en la metodología empleada o la presencia de especies generalistas que abarcan varios tipos de hábitats.

Por otro lado, el uso Bosque muestra una similitud alta con otros usos del suelo. Aunque se esperarí una menor similitud debido a las diferencias ecológicas, esto podría explicarse por la presencia de especies generalistas que se adaptan a diferentes tipos de entornos. En contraste, los cuerpos de agua presentan similitudes moderadas a bajas con otras categorías, lo que refleja la especialización de las especies acuáticas que dependen estrechamente de este hábitat.

Finalmente, el uso Infraestructura y Urbano es el que tiene la menor similitud con las demás categorías, probablemente debido a la predominancia de especies urbanas o generalistas. Esto evidencia una composición de especies más diferenciada y menos compartida con otros usos del suelo.

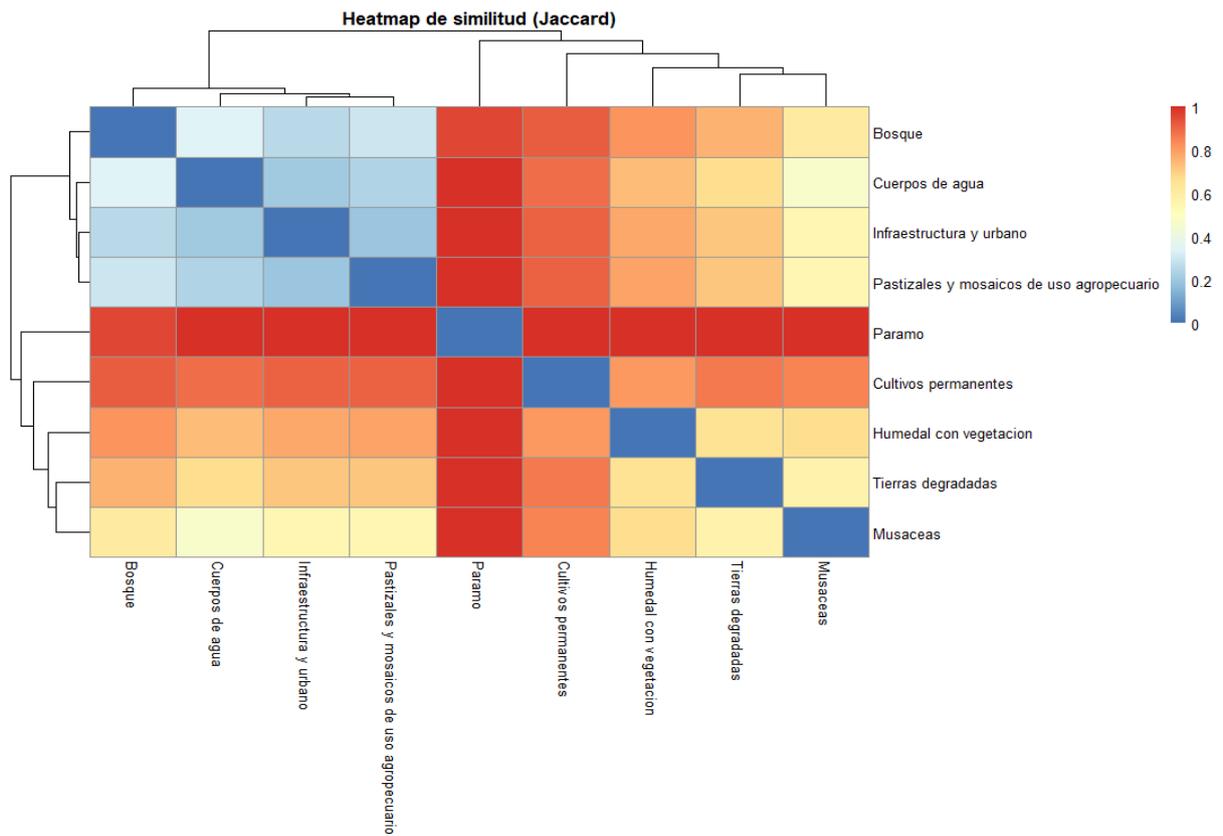


Figura 12. Mapa de calor de similitud de Jaccard para los distintos usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.

En el caso del dendrograma de Bray-Curtis (Figura 13), se aprecia que el Páramo muestra ser distinto a los demás usos del suelo. Sin embargo, se pueden deducir dos grupos similares, el primero lo conforman los Cuerpos de agua, Bosque, Infraestructura y urbano y Pastizales y mosaicos de uso agropecuario, y el segundo está formado por Tierras degradadas, Musáceas, Cultivos permanentes y Humedal con vegetación. En general, el grado de similitud ronda entre el 50 y el 70 %.

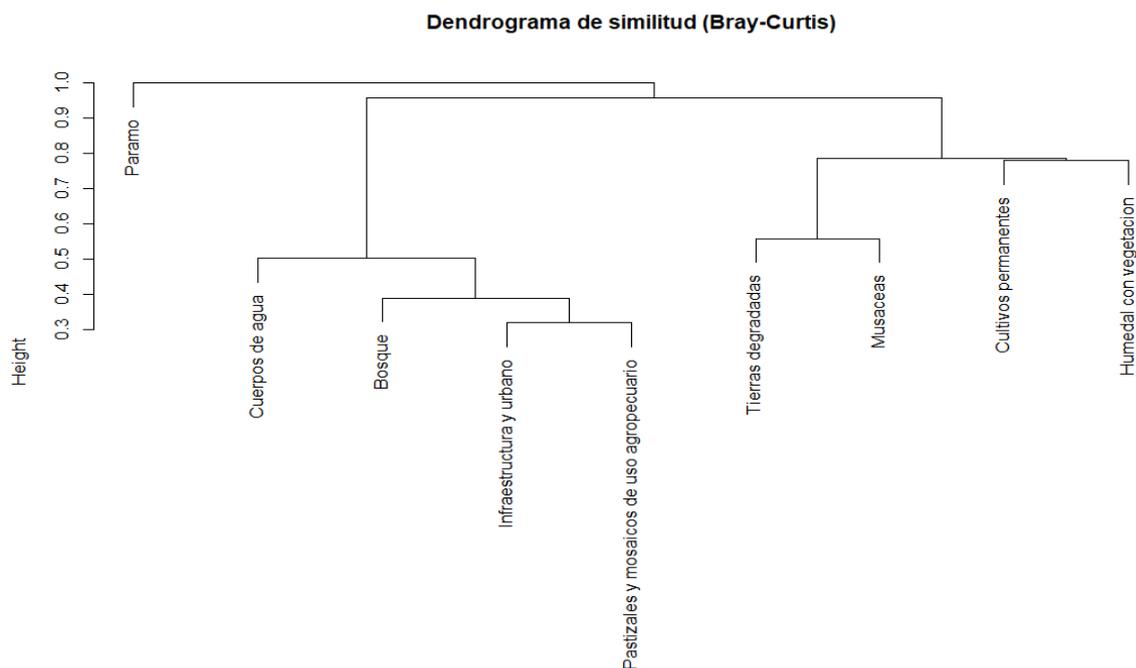


Figura 13. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis para los distintos usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.

Para el análisis según los tres periodos de actualización de las capas de cobertura del área en estudio, se observa que el Bosque en todas las capas, muestra consistentemente la mayor riqueza y diversidad, lo que refuerza su importancia ecológica. Luego, las áreas agrícolas y monocultivos reflejan menor diversidad, destacando la importancia de implementar prácticas sostenibles para mantener la biodiversidad en estos sitios. Igualmente, en el caso de Páramo, revela que sigue siendo el menos diverso. Mientras tanto, las áreas urbanas, muestran altos valores de diversidad en la capa 2021-2022, probablemente debido a la presencia de especies adaptadas a entornos antropogénicos.

Cuadro 4. Índices de diversidad para tres períodos de actualización de capas de cobertura para la cuenca del río Sixaola.

Capa de cobertura	Uso del suelo	Shannon	Simpson	Inverso Simpson	Pielou	Margalef
Capa de cobertura 2005	Agricultura	4.74	0.99	1.01	0.98	23.83
	Bosque	5.21	0.99	1.01	0.95	36.58
	Bosque de palmas	1.61	0.80	1.25	1.00	2.49
	No clasificado	3.48	0.97	1.03	0.99	9.00
	No forestal	5.19	0.99	1.01	0.93	36.42
	Plantación Forestal	2.71	0.93	1.07	1.00	4.12
Capa de cobertura 2011	Bosque	5.29	0.99	1.01	0.91	42.70
	Bosque mezclado con palma	3.11	0.95	1.05	0.99	6.83
	Cuerpos de agua	2.57	0.92	1.09	0.97	4.15
	Páramo	1.39	0.75	1.33	1.00	2.16

	Pastizales y mosaico de uso agropecuario	4.29	0.98	1.02	0.98	16.19
	Urbano/Suelo desnudo	1.39	0.75	1.33	1.00	2.16
	Bosque	5.22	0.99	1.01	0.85	45.29
	Cuerpos de agua	5.07	0.99	1.01	0.87	36.04
	Cultivos permanentes	3.70	0.98	1.03	1.00	7.56
	Ecosistemas abiertos	4.62	0.99	1.01	0.96	18.47
Capa de cobertura 2021-2022	Humedal con vegetación	4.35	0.99	1.01	0.98	17.52
	Infraestructura y urbano	5.17	0.99	1.01	0.86	40.03
	Musáceas	4.71	0.99	1.01	0.92	24.67
	Paramo	2.97	0.93	1.08	0.88	6.59
	Pastizales y mosaicos de uso agropecuario	5.10	0.99	1.01	0.85	37.75

De igual manera. En las figuras 14, 15 y 16 se muestran los mapas que representan los reportes y las coberturas correspondientes a los tres periodos. A grandes rasgos, los usos del suelo se mantienen, principalmente el de bosque (de color verde), el uso agrícola-musáceas (color rosado), los pastizales y mosaicos agropecuarios (de color morado) y el páramo (color fucsia).

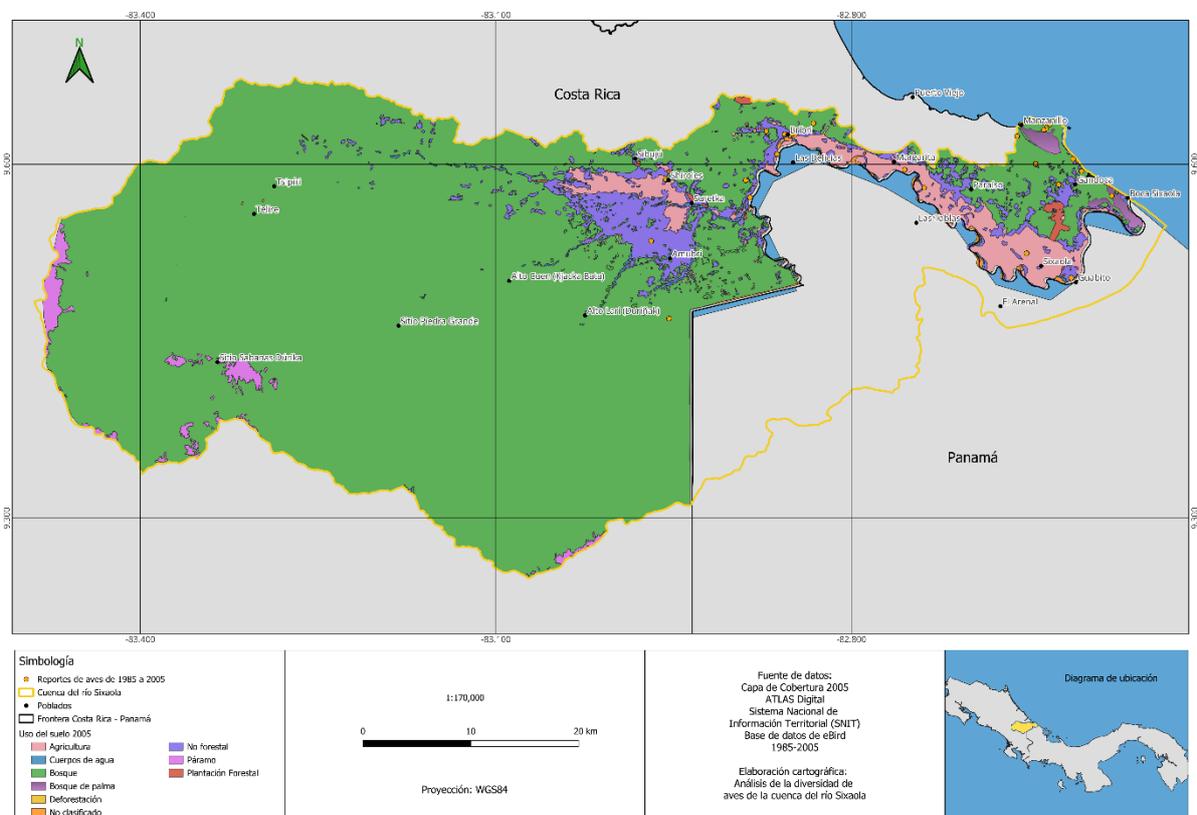


Figura 14. Usos del suelo del año 2005 y reportes de aves para los años de 1985 al 2005 para el territorio costarricense de la cuenca del río Sixoala.

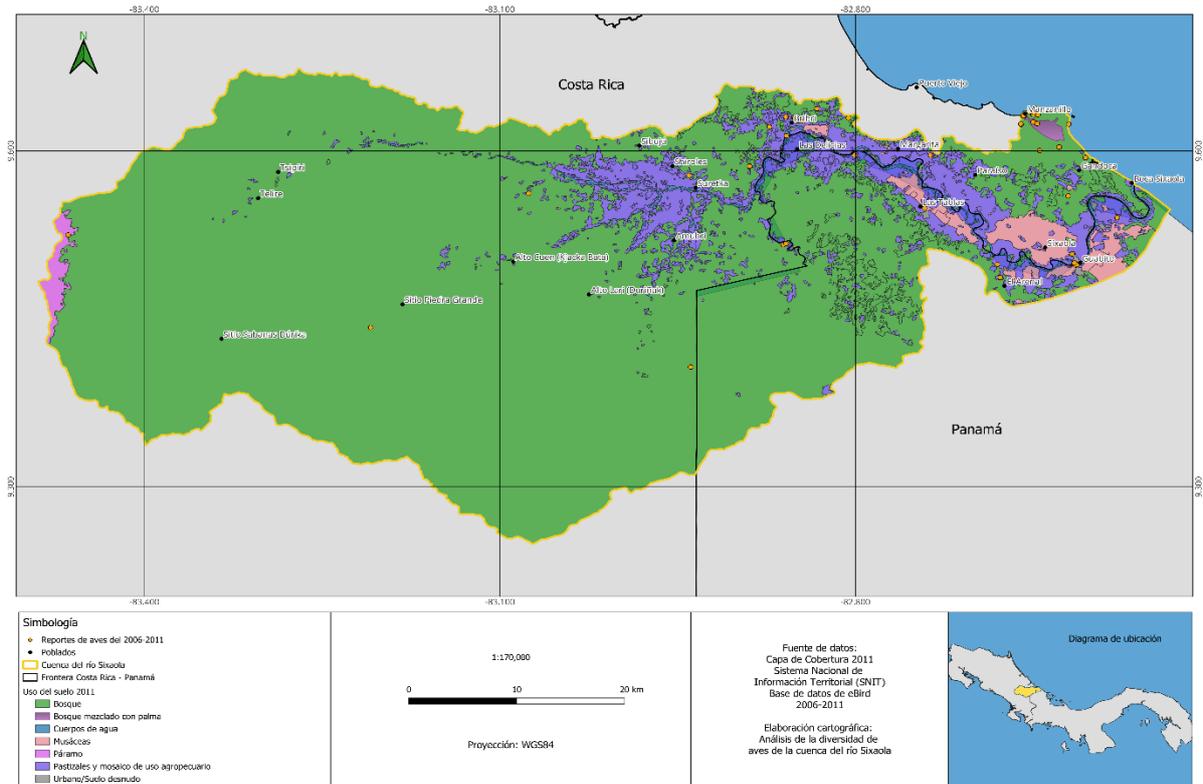


Figura 15. Usos del suelo del año 2011 y reportes de aves para los años de 2006 al 2011 para la cuenca del río Sixaola.

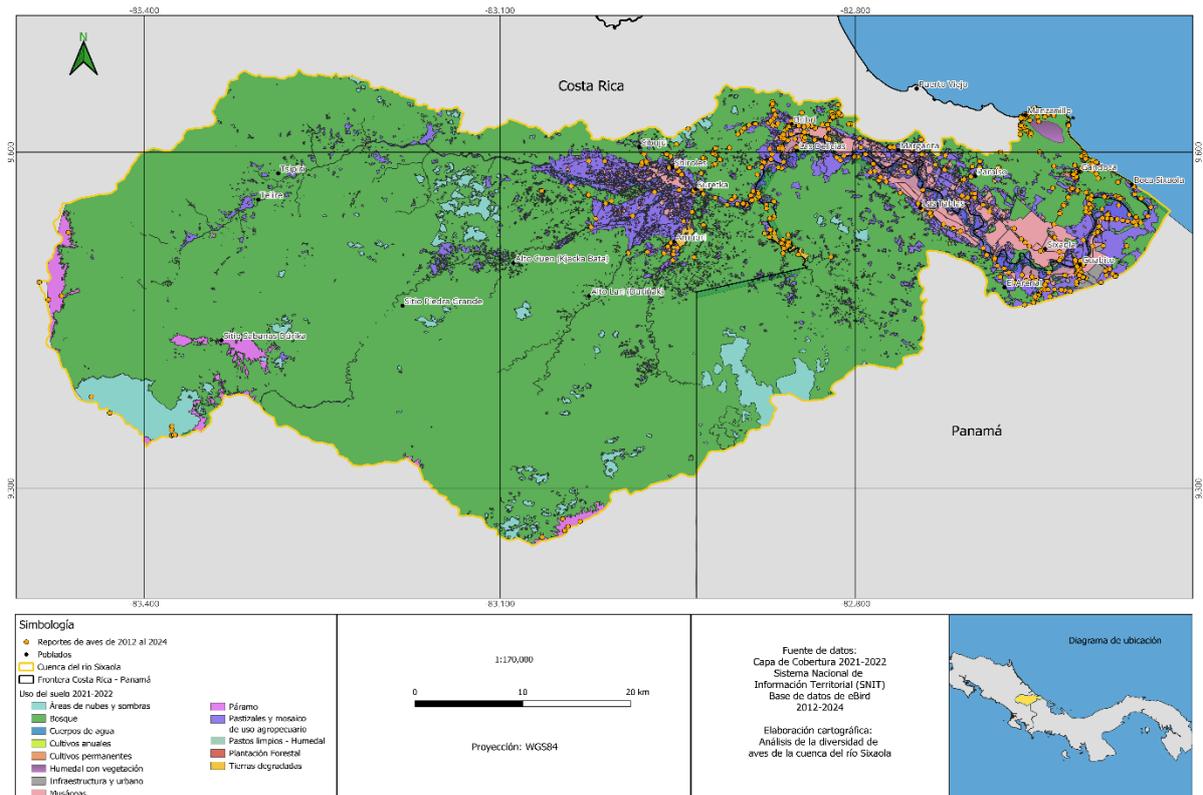


Figura 16. Usos del suelo del año 2022 y reportes de aves para el año 2024 para la cuenca del río Sixaola.

## Discusión

Las aves desempeñan un papel crucial en el funcionamiento de los ecosistemas, desde los páramos y bosques hasta las playas y llanuras costeras. Su participación en procesos como la regeneración forestal, la dispersión de semillas, el control de plagas y la polinización subraya su importancia ecológica, incluyendo su contribución directa e indirecta a la producción agrícola (BirdLife International, 2022). Por estas razones, han sido objeto de numerosos estudios. En este trabajo, se analizó la composición de las poblaciones de las especies, principalmente en el territorio costarricense de la cuenca binacional del río Sixaola, utilizando datos de múltiples reportes de eBird, que contabilizaron un total de 73 familias, 551 especies (representan más del 60 % de aves de Costa Rica) y más de 107,000 individuos. Estos resultados destacan una alta diversidad y abundancia de aves en la región.

Sin embargo, estudios realizados en otros sitios de Costa Rica y Panamá muestran cifras significativamente diferentes. Por ejemplo, en la costa caribeña de Costa Rica, entre Moín y Cahuita, se registraron 1,639 individuos distribuidos en 123 especies (Arguedas & Céspedes, 2015). En un agropaisaje de Esparza, Costa Rica, se documentaron 154 especies (Sáenz & Menacho, 2005; Sáenz et al., 2007), en San Ramón, Costa Rica, en cuatro tipos de cobertura vegetal, se reportaron 548 individuos, pertenecientes a 27 familias y 75 especies (Araya & Carvajal, 2019). Por su parte, en una plantación de café en las montañas de Chiriquí, Panamá, se contabilizaron 1,305 individuos de 43 especies pertenecientes a 15 familias (Myers, 2018). Luego, en tres paisajes agrícolas de Chiriquí, se observaron 734 individuos distribuidos en 65 especies (Jones, 2014), y en un agropaisaje dominado por la ganadería en Esparza, Costa Rica, se registraron 1,901 individuos de 113 especies pertenecientes a 31 familias (Enríquez Lenis, Sáenz & Ibrahim, 2013).

Sin duda, estas marcadas diferencias se deben principalmente a la escala geográfica y a la diversidad de ecosistemas que abarca la cuenca, caracterizada por un paisaje altamente heterogéneo. Además, el esfuerzo de muestreo difiere notablemente, ya que este estudio se basó en datos obtenidos de eBird, una plataforma que recopila información de observadores distribuidos en múltiples puntos y en diferentes momentos. En contraste, otros estudios emplearon metodologías más restringidas y dirigidas, como transectos específicos o puntos de conteo, lo que puede limitar tanto la amplitud como la representatividad de los datos obtenidos.

Más del 60 % de las especies registradas en este estudio son residentes, mientras que se identificó un endemismo del 9.07 % (50 especies) para la región o países cercanos, y un 22.50 % (124 especies) correspondió a especies migratorias. Estos resultados son consistentes con otros estudios que han encontrado una predominancia de aves residentes en sus áreas de estudio. Por ejemplo, en Guerrero, México, el 50 % de las aves registradas

(112 especies) fueron residentes permanentes, con una riqueza endémica de 14.3 % (30 especies) (Vázquez-Reyes et al., 2018). Asimismo, en las partes altas de Chiriquí, Panamá, se registró un endemismo del 40 % (19 especies) (Jones, 2014), una región geográficamente cercana al presente estudio. De manera similar, en las montañas de Talamanca, que abarcan el sureste de Costa Rica y la provincia de Chiriquí en Panamá, se ha reportado que el 50 % de las aves de montaña son endémicas (Jones, 2006). En turberas de altura en Costa Rica, se encontró que el 43 % de las especies eran endémicas, el 34 % residentes y el 14 % migratorias. La predominancia de especies residentes y la proporción de endemismo destacan la importancia de la región estudiada como un área clave para la conservación de la biodiversidad de aves.

Por otro lado, los bosques y los pastizales con mosaicos agropecuarios se destacaron como los usos del suelo más diversos, al albergar una mayor cantidad de especies. En relación con los pastos, un estudio realizado en Esparza encontró que no había una asociación clara entre las especies de aves y los usos del suelo específicos en diferentes coberturas de bosque y tipos de pasturas. Esto sugiere que las aves en estos paisajes utilizan de manera generalizada todos los usos del suelo disponibles (Sáenz et al., 2007).

Sin embargo, los ambientes más boscosos tienden a congregarse una mayor diversidad de especies, ya que proporcionan una amplia gama de recursos alimenticios, especialmente para aquellas aves con dietas especializadas. En contraste, las áreas abiertas o dominadas por pastos suelen ser habitadas por especies generalistas. Estos resultados destacan la importancia de los fragmentos de bosque y de la cobertura arbórea en las fincas para la conservación de la avifauna (Enríquez Lenis, Sáenz & Ibrahim, 2013; Jones, 2014).

Además, Fajardo et al. (2009) encontraron que los usos del suelo como frutales y pasturas con alta densidad de árboles registraron la mayor abundancia de aves, mientras que los remanentes de vegetación natural (como bosque ribereño, bosque secundario y sucesiones vegetales) presentaron la mayor riqueza y diversidad. Esto refuerza la idea de que las áreas boscosas son esenciales para sostener una mayor diversidad y riqueza de especies.

En el caso del páramo, estudios en turberas de las partes altas del Cerro de la Muerte evidenciaron que la diversidad de especies disminuye con el aumento de la altitud. Barrantes (2005) también observó que, en Costa Rica, la riqueza de aves en tierras altas y bosques adyacentes disminuye progresivamente con la altitud, alcanzando su punto mínimo en el páramo, a una altitud de 3,800 m. Estos patrones reflejan las restricciones ambientales extremas en altitudes elevadas, lo que limita la diversidad y favorece únicamente a especies adaptadas a dichas condiciones. Además, es relevante señalar que las especies se están desplazando a mayores elevaciones, debido al cambio climático, visto por Araúz (2015) en

un gradiente altitudinal del Caribe a Villa Mills, específicamente para la especie *Zimmerius vilissimus* (ahora *Zimmerius parvus*) que se proyecta que se desplace a elevaciones más altas en un futuro. Asimismo, en un estudio en la Estación Biológica Río Macho, Ramírez-Alán, Vargas-Masis & Cordero (2015) evidenciaron que, de las 197 especies registradas, el 14.8 % fueron encontradas a altitudes mayores que el límite máximo reportado previamente. Por esta razón, las especies que habitan en ecosistemas de mayor altitud son las más vulnerables al cambio climático, mientras que aquellas que ocupan ecosistemas de altitudes bajas podrían beneficiarse del aumento de las temperaturas, ya que este fenómeno puede ampliar sus rangos de distribución (Freeman et al., 2018).

De esta manera, las aves son uno de los grupos más afectados por la fragmentación de los bosques. Mientras que en el pasado la cacería y las especies introducidas representaban las principales causas de extinción de aves, hoy en día la mayor amenaza proviene de la pérdida de hábitat (BirdLife International, 2022). En los bosques interiores del Caribe costarricense, la diversidad de aves ha sido severamente alterada y amenazada por diversas actividades antropogénicas (López, 1998), favoreciendo la proliferación de especies menos dependientes del bosque (Stiles & Skutch, 1989).

En cuanto a las dietas, la mayoría de las especies registradas fueron insectívoras, representando aproximadamente el 43.74 % de las especies, seguidas por las omnívoras y frugívoras. Estos resultados coinciden con los obtenidos en un estudio realizado en San Ramón, Costa Rica, donde el 39 % de las especies eran insectívoras, seguidas por las frugívoras (23 %) y las omnívoras (17 %) (Araya & Carvajal, 2019). Esto sugiere que en áreas de menor altitud y con ecosistemas más diversos, las aves encuentran una mayor disponibilidad de fuentes de alimento, lo que influye en la composición y distribución de las comunidades de aves (Gastezzi-Arias, Martínez-Araya & Jones-Román, 2021). Al mismo tiempo, se realza la importancia de conservar hábitats diversos que ofrezcan fuentes de alimento variadas, especialmente en áreas de menor altitud, donde las comunidades de aves podrían ser más resilientes. Sin embargo, queda por explorar cómo estas relaciones pueden variar con el tiempo debido a factores como el cambio climático y las presiones humanas continuas.

Harris & Reed (2002) determinaron que las especies migratorias, generalistas y aquellas que habitan en el dosel del bosque tienen una mayor capacidad para cruzar barreras como matrices agrícolas, en comparación con las especies especialistas y las que habitan exclusivamente en el interior del bosque. La proporción de especies migratorias que utilizan sistemas rurales de producción varía según la localidad; sin embargo, se ha observado que los potreros altamente tecnificados y los monocultivos extensivos (caña de azúcar o musáceas, por ejemplo), son poco compatibles con estas aves (Sáenz & Menacho, 2005).

Por lo tanto, en diversos estudios se ha demostrado que los sistemas agroforestales proporcionan hábitats adecuados para muchas especies de aves migratorias (Lindell et al., 2011; Bael, Zambrano & Hall, 2013). Estos sistemas, al ofrecer una estructura vegetal compleja y una diversidad de recursos, pueden funcionar como refugios importantes durante las migraciones, ayudando a las aves a encontrar alimento y refugio en su trayecto. Esta capacidad de los agroecosistemas para albergar tanto a especies residentes como migratorias refuerza su valor para la conservación de la avifauna, especialmente en paisajes modificados por la actividad humana. Asimismo, Myers (2018) ha observado que los sistemas agroforestales de café tienen la capacidad de albergar tanto a especies migratorias como endémicas, e incluso algunas especies con algún grado de amenaza. También, en Esparza, Costa Rica, se destacó la importancia de las cercas vivas para las aves residentes y migratorias, especialmente durante la estación seca, cuando los árboles en floración atraen numerosos polinizadores que pueden servir como fuente de alimento (Sáenz & Menacho, 2005).

Un hallazgo similar fue reportado por Jones (2014), quien encontró que tanto los pastizales como los corredores forestales albergan una cantidad parecida de especies. Sin embargo, los corredores forestales presentaron una mayor riqueza de especies, lo que sugiere que la maximización de los bordes de los bosques y el aumento de los corredores podría ser clave para mejorar la conectividad ecológica y la conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados. Estos estudios refuerzan la importancia de integrar prácticas agroforestales y de manejo sostenible del paisaje para ayudar a proteger la avifauna y sus hábitats, promoviendo la conservación de especies en ecosistemas modificados por la actividad humana.

Volviendo a la diversidad asociada a los diferentes usos del suelo, se ha observado que los sitios con menor cobertura boscosa tienden a presentar una menor diversidad y riqueza de especies. Este es el caso de los cultivos permanentes o tierras degradadas, que suelen corresponder a matrices ecológicas más simples. Además, la conectividad de los parches boscosos parece ser un factor clave para mantener una mayor diversidad, como se evidenció en el estudio de Sánchez & Camargo (2012), donde los parches boscosos mostraron los valores más altos de Shannon (4.48) y Margalef (12.62), aunque estos valores son menores en comparación con los resultados obtenidos en este estudio. Resultados similares se han reportado en otros estudios, donde las áreas con árboles obtuvieron los valores más altos de diversidad, mientras que las pasturas sin árboles mostraron los valores más bajos (Fajardo et al., 2009; Enríquez Lenis, Sáenz & Ibrahim, 2013; Jones, 2014). Sin embargo, un caso atípico se encontró en un estudio realizado en tres paisajes cercanos a plantaciones de café en las montañas de Chiriquí, donde los valores más altos de diversidad se observaron en

cultivos sin sombra, mientras que el bosque tuvo los valores más bajos (Myers, 2018), que podría responder a una dinámica diferente a que se espera en estos sitios.

Respecto a la similitud según los índices de Jaccard y Bray-Curtis, se observó que los lugares desprovistos de áreas boscosas tienden a separarse de los demás tipos de uso del suelo, como ocurre con el páramo, las tierras degradadas y los cultivos permanentes. Estos resultados son consistentes con el estudio de Enríquez Lenis, Sáenz & Ibrahim (2013), donde los pastos sin árboles o con baja densidad arbórea se diferenciaron claramente del resto de usos de la tierra. Además, Araya & Céspedes (2019) destacan que las áreas con mayor cobertura vegetal, mayor disponibilidad de alimento y zonas de refugio son las que albergan una mayor cantidad de especies, mientras que los sitios con mayor similitud están determinados por la conectividad entre ellos.

Según el índice de similitud de Jaccard, se observó que la mayor similitud se da entre los pastizales y mosaicos de uso agropecuario y las áreas de infraestructura y zonas urbanas. Esto podría reflejar que ambos tipos de uso del suelo comparten especies generalistas o adaptadas a hábitats modificados, lo que resalta la importancia de mantener conectividad y elementos arbóreos incluso en paisajes dominados por actividades humanas para sostener la biodiversidad.

Con el paso del tiempo, las capas de uso del suelo han sido actualizadas para reflejar con mayor precisión la realidad territorial, facilitando un mejor ordenamiento de las tierras. Según Calvo-Alvarado et al. (2024), los mapas de cobertura del suelo son herramientas fundamentales para comprender los procesos de cambio en el uso de la tierra y para fomentar la conservación y gestión sostenible de los recursos naturales.

En los periodos evaluados, los usos del suelo han tendido a volverse más específicos y puntuales. Sin embargo, en la cuenca del río Sixaola, esta tendencia parece mantenerse en gran medida sin cambios significativos a escala visual de la cuenca. A nivel nacional, Costa Rica perdió una cantidad considerable de cobertura forestal en la década de los 90, principalmente debido al cambio en el uso del suelo. A pesar de ello, la situación se revirtió en años posteriores. Según González et al. (2021), entre 1986 y 2019, la cobertura forestal nacional pasó de un 50.7 % a un 50.9 %, una diferencia de apenas 0.2 %. No obstante, la distribución espacial de esta cobertura mostró variaciones significativas entre ambos años.

Por su parte, el informe de OET, PNUD, Oficina Costa Rica y Oficina Panamá (2023) destaca que, en el Caribe Sur, las principales actividades responsables de la pérdida de cobertura forestal han sido la expansión de áreas agrícolas y cultivos (incluyendo musáceas), seguida por la ganadería, los pastos y la silvicultura con plantaciones forestales. En este contexto, González et al. (2021) señalan que la ausencia de planes reguladores de uso del suelo ha

propiciado un cambio no planificado hacia usos agrícolas, ganaderos y urbanos, lo que ha incrementado la presión sobre los recursos forestales y biológicos asociados a la cobertura forestal.

Por lo tanto, la gestión adecuada del uso del suelo sigue siendo un desafío clave en Costa Rica, particularmente en regiones como el Caribe Sur, donde las actividades humanas intensifican la presión sobre los ecosistemas. Implementar políticas efectivas de ordenamiento territorial y promover prácticas sostenibles son pasos esenciales para garantizar un equilibrio entre desarrollo y conservación, protegiendo así los recursos naturales para las generaciones futuras.

Por último, es importante destacar cómo los avances tecnológicos y el creciente conocimiento en la conservación de la flora y fauna han desempeñado un papel crucial en la protección de los ecosistemas. Un ejemplo notable es el aumento en la cantidad de reportes de aves en las últimas décadas. Mientras que en los años 90 y 2000 los registros eran limitados, a partir de 2012 hasta 2024 se ha observado un notable incremento en estos reportes para el caso de la cuenca. Este cambio refleja no solo una mayor participación, sino también una mejora en las herramientas disponibles para la investigación y monitoreo.

El desarrollo tecnológico ha revolucionado las formas de vigilancia de las poblaciones y la distribución de las aves, así como la identificación de las amenazas que enfrentan. La tecnología de seguimiento por satélite, que ha avanzado significativamente en los últimos años, ahora proporciona una percepción más detallada y precisa de los movimientos de las aves a nivel global. Además, la ciencia ciudadana se ha convertido en una herramienta clave para monitorear la distribución de las especies, permitiendo que las comunidades contribuyan de manera activa a la recopilación de datos sobre biodiversidad (BirdLife International, 2022).

En conclusión, los avances en tecnología y la integración de enfoques participativos como la ciencia ciudadana están transformando el panorama de la conservación de la biodiversidad. Estas herramientas no solo amplían el conocimiento sobre las especies y sus ecosistemas, sino que también fomentan la colaboración entre científicos, comunidades y gobiernos. Este esfuerzo conjunto es esencial para abordar los retos actuales y garantizar un futuro sostenible para la flora y fauna del planeta.

## **Conclusiones**

La cuenca binacional del río Sixaola alberga una notable diversidad y abundancia de aves, representando más del 60 % de las especies registradas en Costa Rica. Esto refuerza la importancia de la región como un área clave para la conservación de la biodiversidad.

Los fragmentos de bosque y las áreas con cobertura arbórea muestran una mayor riqueza y diversidad de aves, en comparación con tierras degradadas o lugares desprovistos de árboles, destacando la importancia de estos hábitats para mantener la diversidad de aves.

La conectividad entre parches boscosos y otros hábitats contribuye a una mayor diversidad de especies, mientras que los paisajes con menor cobertura arbórea presentan menor similitud en su composición de aves, lo que sugiere una fragmentación ecológica significativa.

Los sistemas agroforestales, particularmente los de sombra, tienen el potencial de albergar especies migratorias, endémicas y vulnerables, contribuyendo a la conservación de la avifauna en paisajes agrícolas y fragmentados.

La predominancia de aves insectívoras y la relación entre la dieta y la disponibilidad de recursos en diferentes usos del suelo destacan la necesidad de conservar hábitats diversos para sustentar las dinámicas ecológicas que dependen de estas especies.

## **Recomendaciones**

Implementar políticas y prácticas de manejo que prioricen la protección y restauración de parches boscosos, asegurando su conectividad en paisajes fragmentados.

Fomentar la adopción de sistemas agroforestales de sombra como una estrategia para conservar la biodiversidad de aves en paisajes agrícolas y apoyar a las comunidades locales mediante prácticas sostenibles.

Establecer y mantener corredores forestales que conecten áreas protegidas y fragmentos boscosos, promoviendo la movilidad de las aves y la conservación de su hábitat.

Implementar medidas que aumenten la complejidad estructural de las tierras degradadas, como la inclusión de árboles en pastizales, para mejorar su capacidad de albergar especies de aves.

Involucrar a las comunidades locales en programas de conservación y educación ambiental para promover prácticas sostenibles y el aprecio por el valor ecológico de las aves y sus hábitats, logrando una apropiación de buenos valores por los pueblos.

## Referencias

- Araúz Ponce, K. M. (2015). Impacto potencial del cambio climático en la distribución de aves frugívoras en el gradiente altitudinal Caribe-Villa Mills en Costa Rica. [Tesis de Maestría]. CAYIE, Turrialba, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7687>
- Araya Céspedes, O., & Carvajal Sánchez, J. P. (2019). Composición y riqueza de avifauna en cuatro tipos de cobertura vegetal de San Ramón, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 154-158. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i2.2177>
- Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLAC). (2017). Sistematización de la Experiencia del Corredor Biológico Talamanca Caribe. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Proyecto para la Promoción del Manejo Participativo en la Conservación de la Biodiversidad (MAPCOBIO) y Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). Disponible en: <https://www.sinac.go.cr/ES/publicaciones/Sistematizacin%20experiencias%20locales/INFORME%2016%20-%20CB%20TALAMANCA.pdf>
- Arguedas, J. C. V., & Céspedes, J. V. (2015). Avifauna del Caribe sur asociada a ecosistemas alterados en Limón, Costa Rica. *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 6(2), 187-196.
- Bael, S. A., Zambrano, R., & Hall, J. S. (2013). Bird communities in forested and human-modified landscapes of Central Panama: A baseline survey for a native species reforestation treatment. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 9(4), 281-289.
- BirdLife International (2022) State of the World's Birds 2022: Insights and solutions for the biodiversity crisis. Cambridge, UK: BirdLife International.
- Jiménez Martínez, A. M. (2013). Hábitos alimenticios de algunas especies de aves en Achote, provincia de Colón, Panamá (Doctoral dissertation, Universidad de Panamá).
- Calvo-Alvarado, J; Carvajal-Vanegas, D; Jiménez-Salazar, V; Castro-Campos, M. (2024). Versión mejorada del mapa digital de coberturas naturales de la primera edición hojas cartográficas de Costa Rica escala 1:25 000. *Tecnología en Marcha*. Vol. 37, No 4. Octubre-Diciembre, 2024. 21-30. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i4.6843>
- Castillo, L., Martínez, E., Ruepert, C., Savage, C., Gliek, M., Pinnock, M., & Solís, E. (2007). Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide applications in a banana plantation, Limón, Costa Rica. *Science of The Total Environment*, 367, 418-432. <http://dx.doi.org.una.idm.oclc.org/10.1016/j.scitotenv.2007.02.052>

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). (s.f). Lista de especies CITES. [En línea]. Recuperado de: <https://checklist.cites.org/#/es>

Cornell Lab of Ornithology. (2023). eBird: An online database of bird distribution and abundance. Recuperado de <https://ebird.org>

Cornell Lab of Ornithology. (2024). Birds of the World. Cornell University. [En línea]. Consultado el 4 de diciembre de 2024. Disponible en: <https://birdsoftheworld.org/bow/home>

Delgado, G. (2020). Estructura, composición florística y diversidad de especies del humedal Llanura Costera, Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Gandoca-Manzanillo, Limón, Costa Rica. [Tesis de Licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. <https://hdl.handle.net/2238/12400>

Enríquez Lenis, M. L., Sáenz, J. C., & Ibrahim, M. A. (2013). Riqueza, abundancia y diversidad de aves y su relación con la cobertura arbórea en un agropaisaje dominado por la ganadería en el trópico subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas, número 45 (2007)*.

Fajardo, D., Johnston González, R., Neira, L., Chará, J., & Murgueitio, E. (2009). Influencia de sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente Número 58 (Diciembre 2009), páginas 9-16*.

Freeman, B. G., Scholer, M. N., Ruiz-Gutierrez, V., & Fitzpatrick, J. W. (2018). Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47), 11982-11987. <https://www.pnas.org/content/115/47/11982>

Garrigues, R., & Dean R. (2014). The Birds of Costa Rica. A Field Guide. Cornell University Press. *Zona Tropical*.

Garrigues, Richard, P. Camacho-Varela, J. Corrales, C. Hidalgo, R. Jiménez, P. O'Donnell, D. Rodríguez, y J. Zook. (2024). Lista Oficial de las Aves de Costa Rica 2024-2025 – Actualización Noviembre 2024. Comité de Especies Raras y Registros Ornitológicos de Costa Rica (Comité Científico), Asociación Ornitológica de Costa Rica. <https://listaoficialavesdecostarica.wordpress.com/>

Gastezzi-Arias, P., Martínez-Araya, D., & Jones-Román, G. (2021). Distribución altitudinal de la riqueza y diversidad de aves en turberas de altura, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 13(2).

González Gamboa, V., Muñoz Jiménez, R., Vargas Bolaños, C., & Durán Monge, E. (2021). Descripción de cambios de uso del suelo en Costa Rica: 1986-2019. Informe Estado de la Nación 2021. CONARE y PEN. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35545.74085>

Harris, R. J., & Reed, J. M. (2002). Behavioral barriers to non-migratory movements of birds. In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 275-290). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.

Jones, B.L. (2006). Cementing the wrong path: a case study of a rural road in Panamá. *Journal of Sustainable Forestry*, 22: 73-92

Jones, J. (2014). Avian diversity across three distinct agricultural landscapes in Guadalupe, Chiriquí Highlands, Panamá. *Independent Study Project (ISP) Collection*. 1999. [https://digitalcollections.sit.edu/isp\\_collection/1999](https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/1999)

Lindell, C. A., Cole, R. J., Holl, K. D., & Zahawi, R. A. (2011). Migratory bird species in young tropical forest restoration sites: Effects of vegetation height, planting design, and season. *Bird Conservation International*, 22(01), 94-105.

López, H. (1998). Comparación de la avifauna de sotobosque en un paisaje fragmentado del pacífico central, Costa Rica. (Tesis de maestría inédita). PRMVS. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Maas, B., Karp, D. S., Bumrungsri, S., Darras, K., Gonthier, D., Huang, J. C. C., ... & Williams-Guillén, K. (2016). Bird and bat predation services in tropical forests and agroforestry landscapes. *Biological Reviews*, 91(4), 1081-1101.

Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and its measurement. C. Helm (Ed.). New Jersey, EE. UU.: Princeton University Press.

MINAE-IMN. (2011). Estudio de las cuencas hidrográficas de Costa Rica. Análisis biofísico, climatológico y socioeconómico, Cuenca del río Sixaola. Recuperado de: <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/estudio-de-las-cuencas-hidrograficas-de-costa-rica/>

Museo Nacional de Costa Rica. (2022). Biodiversidad de aves en Gandoca-Manzanillo y Sixaola. [En línea]. Consultado el 17 de diciembre de 2024. <https://www.museocostarica.go.cr/nuestro-trabajo/investigaciones/historia-natural/gandoca-manzanillo-y-sixaola/aves/>

Museo Nacional de Costa Rica. (2022). Biodiversidad de aves en Páramos de Talamanca. [En línea]. Consultado el 17 de diciembre de 2024. <https://www.museocostarica.go.cr/nuestro-trabajo/investigaciones/historia-natural/paramos-de-talamanca/aves/>

Myers, S. (2018). Avian diversity and abundance in three different vegetative landscapes around a shade-grown coffee plantation on Mount Totumas, Chiriquí Highlands, Panamá. *Independent Study Project (ISP) Collection*. 2795. [https://digitalcollections.sit.edu/isp\\_collection/2795](https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/2795)

Organización para Estudios Tropicales (OET) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) Oficina Costa Rica y Oficina Panamá. (2023). Análisis Transfronterizo de la Cuenca Binacional del Río Sixaola. Herramientas de Planificación Estratégica de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca Binacional del Río Sixaola. Vol 1. Hone Creek, Talamanca, Costa Rica.

Ramírez-Alán, O., Vargas-Masís, R., & Cordero, R. A. (2015). Cambios en la distribución altitudinal de las aves de río Macho, Cartago, Costa Rica. *El hornero*, 30(2), 55-61.

Rodríguez Echavarría, T. (2019). Gobernanza ambiental en cuencas transfronterizas: la cuenca del río Sixaola (Costa Rica-Panamá). *Iztapalapa. Revista de ciencias sociales y humanidades*, 40(87), 71-99.

Rodríguez, H. U., Julio, E. A., Quesada, M. D., & de Joode, B. V. W. (2023). Evaluación de la efectividad del uso de bolsas sin plaguicidas, en la producción de plátano en Bratsi y Sixaola, cantón de Talamanca, Costa Rica. *Revista Environment & Technology*, 4(2), 53-73. <https://doi.org/10.56205/ret.4-2.3>

Sáenz, J. C., & Menacho, R. M. (2005). Riqueza y abundancia de las aves migratorias en paisajes agropecuarios de Esparza, Costa Rica. *Zeledonia (Boletín de la Asociación Ornitológica de Costa Rica)*, 9(1), 10-21.

Sáenz, J. C., Villatoro, F., Ibrahim, M. A., Fajardo, D., & Pérez, M. (2007). Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia.

Sánchez Gómez, E. L., & Camargo García, J. C. (2012). Diversidad de avifauna en paisajes rurales de la cuenca del río La Vieja, Eje Cafetero de Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente; Número 65-66 (Marzo-Agosto 2012), páginas 83-89.*

Sistema Nacional de Área de Conservación (SINAC). (2017). Lista oficial de especies en peligro de extinción en Costa Rica (R-SINAC-CONAC-092-2017). San José, Costa Rica: Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

Stiles, F. G., & Skutch, A. (1989). A guide to the Birds of Costa Rica. Cornell University: Ithaca, New York.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2024). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-2. [En línea]. Recuperado de: <https://www.iucnredlist.org>

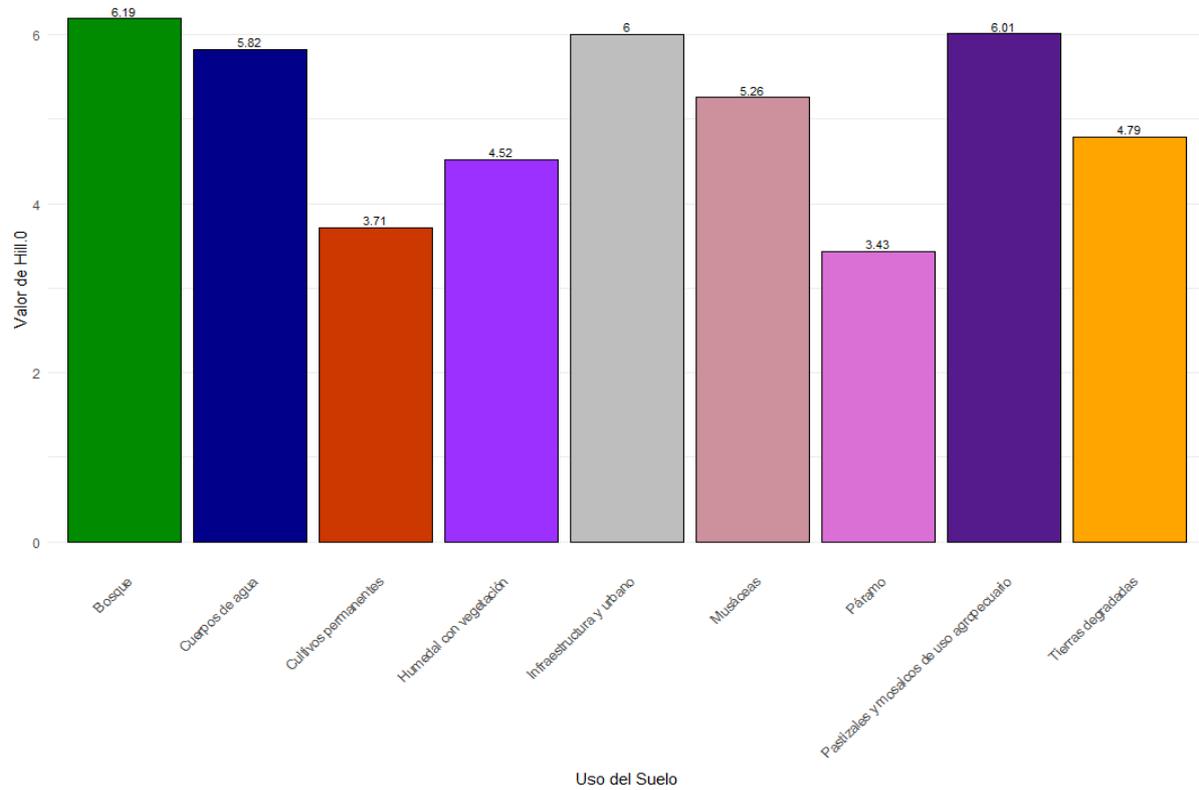
Vázquez-Reyes, L. D., Jiménez-Arcos, V. H., Santa Cruz-Padilla, S. A., García-Aguilera, R., Aguirre-Romero, A., Arizmendi, M. D. C., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2018). Aves del Alto

Balsas de Guerrero: diversidad e identidad ecológica de una región prioritaria para la conservación. *Revista mexicana de biodiversidad*, 89(3), 873-897.

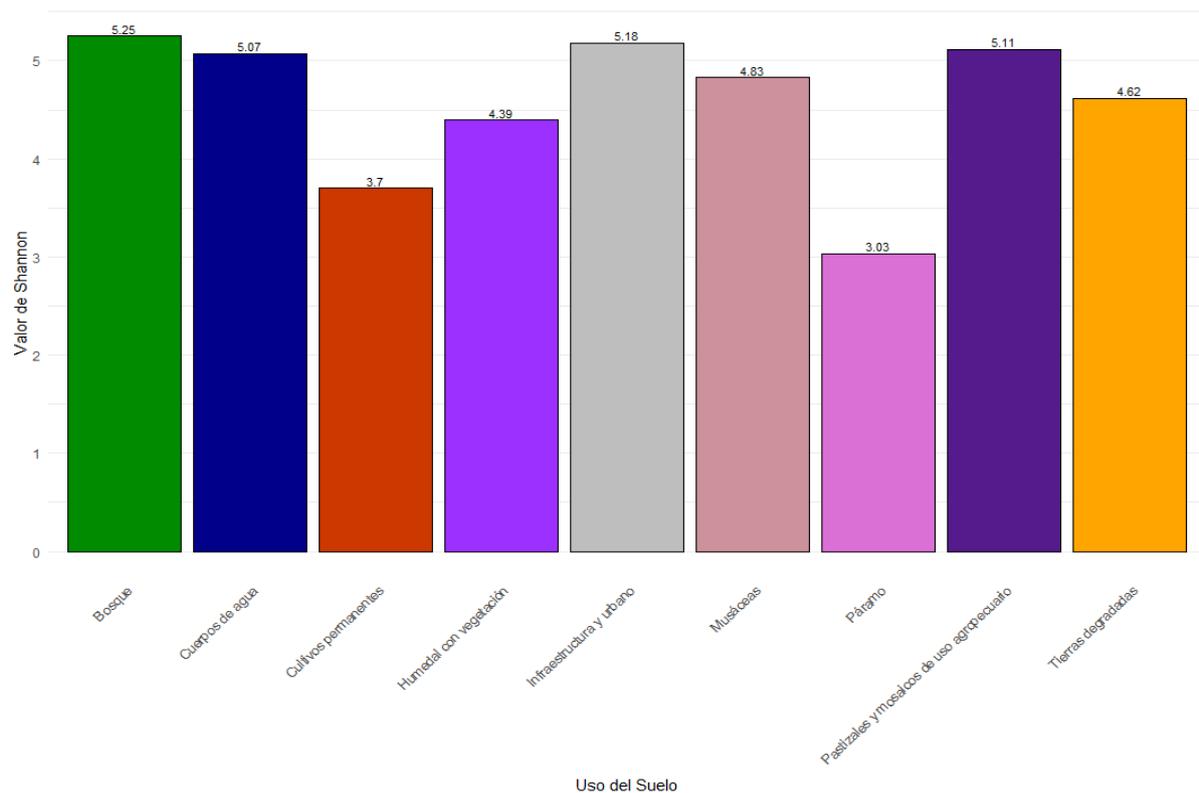
Villegas-Arguedas, J. C. (2019). Diversidad de aves en la zona costera de Bahía Ballena y Puerto Cortés, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 145-153.

## Anexos

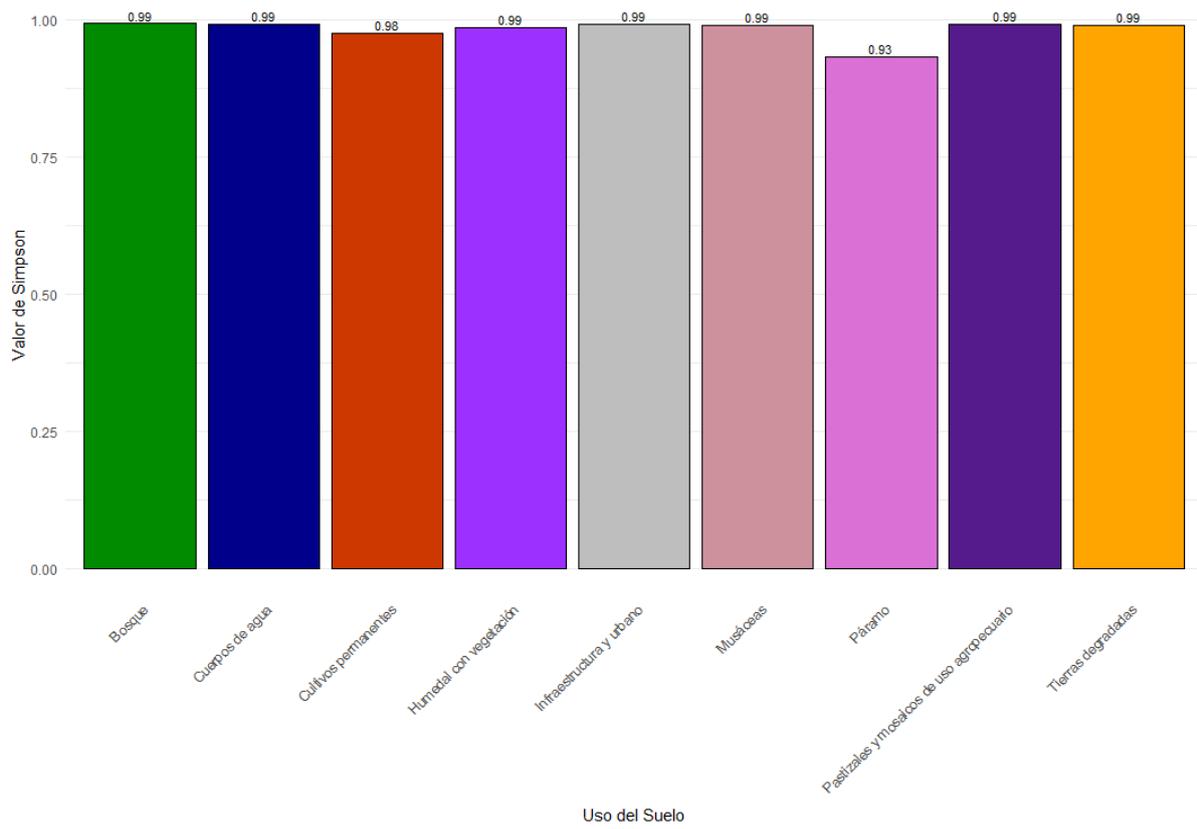
Anexo 1. Índice de Hill q.0 para los usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.



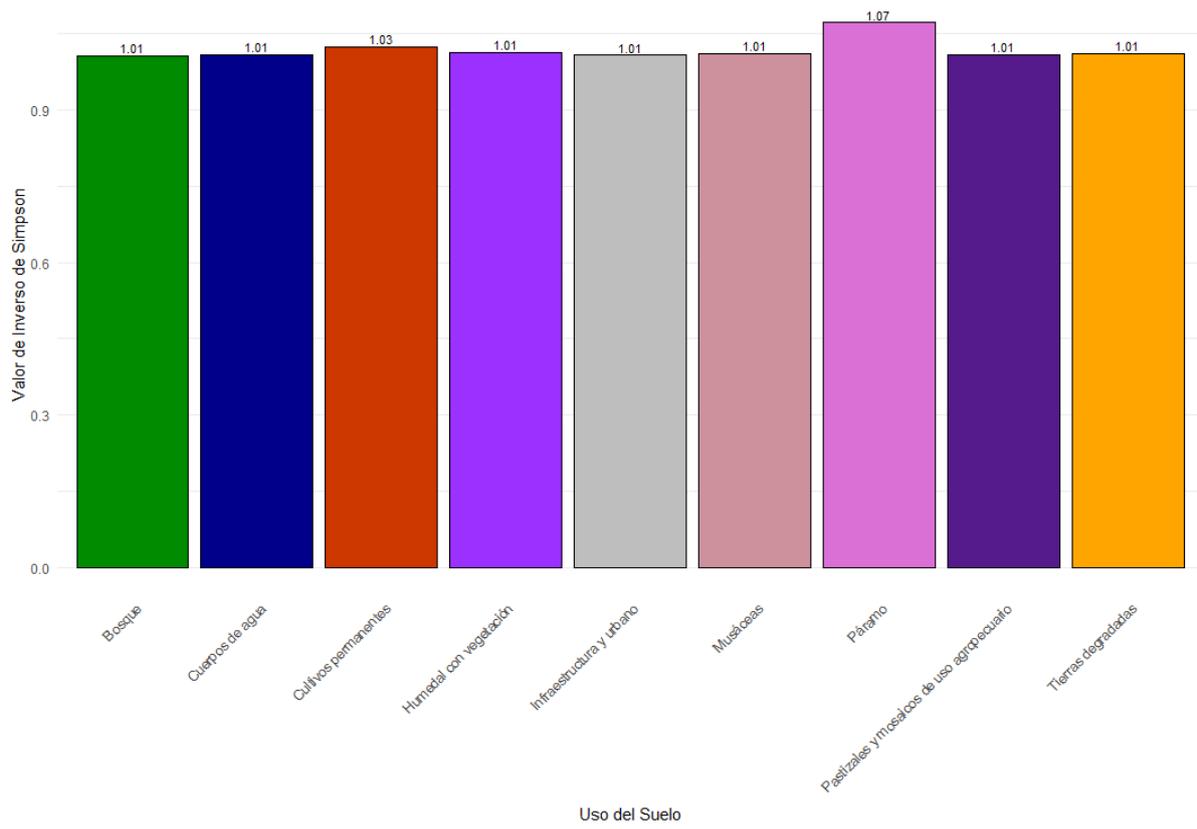
Anexo 2. Índice de Shannon para los usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.



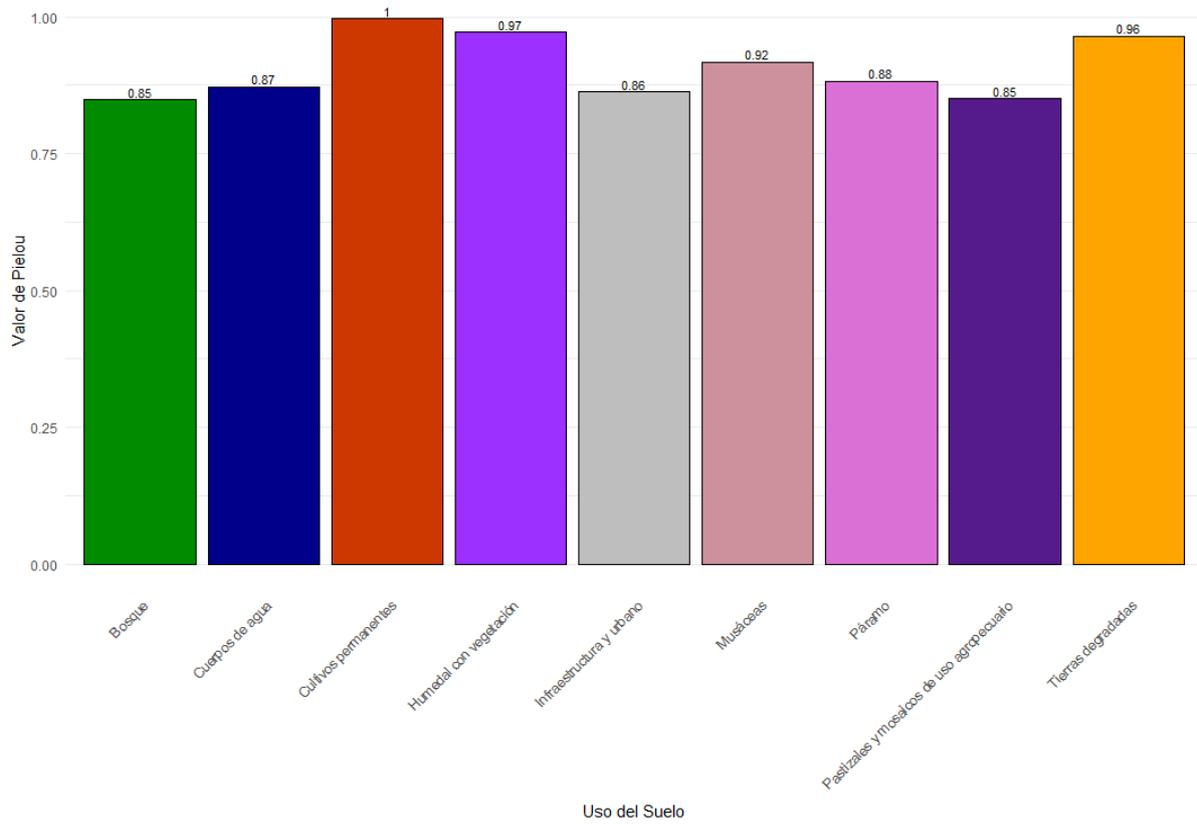
Anexo 3. Índice de Simpson para los usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.



Anexo 4. Índice del Inverso de Simpson para los usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.



### Anexo 5. Índice de Pielou para los usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.



### Anexo 6. Índice de Margalef para los usos del suelo de la cuenca del río Sixaola.

