

Diversidad taxonómica y funcional de aves frugívoras e insectívoras asociadas a dos tipos de paisaje en una zona de influencia del embalse de Topocoro – Santander.

Sofía Preston Rodríguez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Bióloga

Director

Víctor Hugo Serrano Cardozo

Doctor en Ciencias Biológicas

Codirectora

Martha Patricia Ramírez Pinilla

Doctora en Ciencias Biológicas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mis padres quienes me han enseñado que lo que me proponga lo puedo lograr, y a ser perseverante y constante con mis sueños y metas. A mis amigos quienes me han demostrado su apoyo durante todo el proceso.

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, por abrirme sus puertas para estudiar esta carrera. A mi director Víctor Hugo Serrano Cardozo, mi codirectora Martha Patricia Ramírez Pinilla y mi tutora Laura Lozano por su confianza, orientación, tiempo y enseñanza. A la Escuela de Biología y al Grupo de Estudios en Biodiversidad (GeBio) por abrirme las puertas para ser parte de este trabajo. A todas las personas que estuvieron involucradas en el proceso de desarrollo del trabajo, a la Colección de Aves del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander y en la Colección de Aves del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, y a las familias de Santa María y Máquina Resumidero por abrirnos las puertas a sus fincas para poder hacer el muestreo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
2. Competencias	14
3. Metodología	15
3.1 Área de estudio	15
3.2 Toma de datos	18
3.2.1 <i>Caracterización de la vegetación</i>	18
3.2.2 <i>Muestreo de aves</i>	19
3.2.3 <i>Medidas de rasgos funcionales</i>	20
3.3 Análisis de datos	21
3.3.1 <i>Análisis de diversidad taxonómica</i>	21
3.3.2 <i>Análisis de diversidad funcional</i>	22
3.3.3 <i>Características de la vegetación, diversidad taxonómica y diversidad funcional</i>	22
4. Resultados	23
4.1 Diversidad taxonómica	23
4.1.1 <i>Composición de especies</i>	23
4.1.2 <i>Diversidad alfa</i>	25
4.1.2.1 Entre sitios	25
4.1.2.2 Entre coberturas	27

4.1.2.3 Entre temporada húmeda y seca	29
<i>4.1.3. Diversidad Beta</i>	31
4.1.3.1 Entre sitios	31
4.1.3.2 Entre coberturas	31
4.1.3.3 Entre temporada húmeda y seca	32
4.2 Diversidad funcional.....	32
4.3 Características de la vegetación, diversidad taxonómica y diversidad funcional.....	37
5. Discusiones	39
5.1 Diversidad taxonómica	39
5.2 Diversidad funcional.....	43
5.3 Características del paisaje, diversidad taxonómica y diversidad funcional.....	45
6. Conclusiones.....	47
7. Recomendaciones	47
Referencias Bibliográficas	49
Apéndices.....	57

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Valores de diversidad beta utilizando el índice de disimilitud de Sorensen comparando diferentes ensamblajes de la comunidad de aves frugívoras e insectívoras.....	32
Tabla 2 Índices de diversidad funcional del ensamblaje de aves frugívoras e insectívoras presentes en el dos zonas de influencia del embalse de Topocoro	33

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Mapa del área de estudio; Santa María y Máquina Resumidero	16
Figura 2 Coberturas muestreadas en el área de estudio	19
Figura 3 Curva de rango-abundancia de las especies frugívoras e insectívoras registradas en Santa María y Máquina Resumidero.....	24
Figura 4 Rarefacción y extrapolación de la diversidad de aves (Números de Hill) en Santa María y Máquina Resumidero	25
Figura 5 Rarefacción y extrapolación de la diversidad de especies (Números de Hill) entre las coberturas.....	27
Figura 6 Rarefacción y extrapolación de la diversidad de especies (Números de Hill) entre los sitios de muestreo Santa María y Máquina Resumidero en temporada seca y húmeda	29
Figura 7 Riqueza funcional FRic entre las coberturas más contrastantes en A) Santa María y B) Máquina Resumidero	34
Figura 8 Dispersión funcional FDis entre las coberturas más contrastantes en A) Santa María y B) Máquina Resumidero	35
Figura 9 Especialización funcional FSpe entre las coberturas más contrastantes en A) Santa María y B) Máquina Resumidero	36
Figura 10 Análisis de correspondencia canónica (CCA) entre la abundancia de las especies de aves y las coberturas para Santa María y Máquina Resumidero	38

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A Abundancia de las especies de aves frugívoras e insectívoras registradas en las tres coberturas vegetales muestreadas en Santa María y Máquina Resumidero	57
Apéndice B Climograma de precipitación y temperatura mensual para cada sitio muestreado...	63
Apéndice C Ilustración de la calidad de los espacios funcionales	64
Apéndice D Relación entre los rasgos y los ejes de los PCoA seleccionados	65

Resumen

Título: Diversidad taxonómica y funcional de aves frugívoras e insectívoras asociadas a dos tipos de paisaje en una zona de influencia del embalse de Topocoro – Santander.*

Autor: Sofía Preston Rodríguez**

Palabras Clave: Aves, diversidad taxonómica, diversidad funcional.

Descripción: Se presentan los resultados correspondientes al componente avifaunístico de la pasantía de investigación, enmarcada en el macroproyecto permanente del Grupo de Estudios en Biodiversidad (GeBIO) sobre la evaluación de la diversidad regional de flora y fauna. La diversidad funcional de las comunidades de aves se puede ver afectada por las condiciones ambientales particulares, como los gradientes ambientales y la transformación del paisaje. El objetivo de esta pasantía fue evaluar la diversidad taxonómica y funcional de aves frugívoras e insectívoras asociados a dos paisajes (Santa María y Máquina Resumidero) de la zona de influencia del embalse de Topocoro – Santander. En cada uno se establecieron tres puntos de muestreo asociados a tres coberturas 1) transición potrero bosque, 2) vegetación secundaria y 3) bosque. Se registraron las aves presentes en cada cobertura, para cada especie se tomaron medidas de rasgos morfológicos con especímenes capturados en campo y en colecciones ornitológicas. En total se registraron 79 especies pertenecientes a los gremios insectívoros y frugívoros. Hubo mayor riqueza, diversidad y equidad según los números de Hill en la cobertura de vegetación secundaria, seguido de transición potrero bosque y finalmente bosque. Para la diversidad funcional, hubo mayor riqueza funcional y una menor dispersión funcional en la cobertura de vegetación secundaria y una menor riqueza funcional y mayor dispersión funcional en la cobertura de bosque, que se relaciona mayor presencia de especies especialistas. Finalmente, se corroboró mediante un análisis de correspondencia canónica que no hubo asociación entre las variables de vegetación evaluadas y la composición de las especies frugívoras e insectívoras en los sitios muestreados. Se concluye que el grado de perturbación de no es tan alto para generar cambios drásticos en la diversidad taxonómica y funcional de los gremios evaluados y se sugiere aumentar el tiempo de muestreo para tener más datos de respaldo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ciencias. Escuela de Biología. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo, PhD. Codirectora: Martha Patricia Ramírez Pinilla, PhD.

Abstract

Title: Taxonomic and functional diversity of frugivorous and insectivorous birds associated with two types of landscape in an area of influence of the Topocoro reservoir in Santander *

Author(s): Sofía Preston Rodríguez**

Key Words: Birds, taxonomic diversity, functional diversity.

Description: The results corresponding to the avifaunistic component of the research internship are presented, framed in the permanent macro-project of the Biodiversity Studies Group (GeBIO) on the evaluation of the regional diversity of flora and fauna. The functional diversity of bird communities can be affected by particular environmental conditions, such as environmental gradients and landscape transformation. The objective of this internship was to evaluate the taxonomic and functional diversity of frugivorous and insectivorous birds associated with two landscapes (Santa María and Máquina Resumidero) in the area of influence of the Topocoro - Santander reservoir. Three sampling points associated with three coverages were established: 1) pasture-forest transition, 2) secondary vegetation and 3) forest in. The birds present in each coverage were recorded, for each species measurements of morphological traits were taken with specimens captured in the field and in ornithological collections. In total, 79 species belonging to the insectivorous and frugivorous guilds were recorded. There was greater richness, diversity and equality according to the Hill numbers in the coverage of secondary vegetation, followed by the pasture-forest transition coverage and forest coverage. For functional diversity, there was greater functional richness and less functional dispersion in the secondary vegetation cover and less functional richness and greater functional dispersion in the forest cover, which is related to a greater presence of specialist species. Finally, it was confirmed through a canonical correspondence analysis that there was no association between the evaluated vegetation variables and the composition of the frugivorous and insectivorous species in the sampled sites. It is concluded that the degree of disturbance is not so high to generate drastic changes in the taxonomic and functional diversity of the guilds evaluated and it is suggested to increase the sampling time to have more supporting data.

* Degree Work

** Science Faculty. School of Biology. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo, PhD. Co-director: Martha Patricia Ramírez Pinilla, PhD.

Introducción

Colombia al ser un país que se encuentra en el trópico presenta una variedad de topografías, climas y ecosistemas que ofrecen una abundancia de recursos naturales que le permiten albergar una gran variedad de especies de flora y fauna. En aves, Colombia se encuentra representada por 1954 especies, que están distribuidas en 31 órdenes, 94 familias y 741 géneros (Asociación Colombiana de Ornitología, 2020), lo que la convierte en uno de los países más diversos en aves en el mundo. Esta diversidad de aves se encuentra agrupada en diferentes categorías (Salt, 1953) o gremios debido a la forma similar en que explotan los recursos del ambiente (Root, 1967). Entre la variedad de alimentos disponibles para las aves se incluyen frutas, néctar, semillas, invertebrados y vertebrados, siendo las frutas, las semillas y los insectos la principal fuente de nutrición de la mayoría de las aves, especialmente en el orden de las passeriformes (Gill, 2007).

Esta biodiversidad se ha visto afectada principalmente por la fragmentación del hábitat (Rincón-Parra et al., 2022), los seres humanos hemos alterado el paisaje para beneficio propio a través de la deforestación, la expansión de tierras para uso agrícola y de extensión para pastizales (Santos y Tellería, 2006). La respuesta de las aves a estas alteraciones en el hábitat depende de la ecología de cada especie y de su historia natural (Weiss et al., 2008; Simberloff, 1994). Las especies que se ven afectadas en mayor medida son aquellas que tienen distribución restringida, las menos abundantes y las especialistas en bosques tropicales (Weiss et al., 2008; Raman, 2001). Asimismo, otros factores como la capacidad de dispersión, el tamaño corporal y la dieta influyen en la vulnerabilidad de las especies a la fragmentación del hábitat (Weiss et al., 2008). Los gremios de forrajeo se han empleado como una herramienta útil para analizar los cambios en

las comunidades de aves en respuesta a las perturbaciones (Weiss et al., 2008;) y en varios estudios se ha evidenciado que los grandes frugívoros del dosel y los insectívoros del sotobosque son especialmente vulnerables a las perturbaciones del hábitat (Stratford y Stouffer, 1999; Renjifo, 2001; Newmark, 2006). Por ejemplo, según el análisis de Luck y colaboradores (2012) para el gremio de las aves frugívoras, la capacidad de moverse entre parches de hábitat puede determinar la repuesta de una especie a la disminución de la conectividad del paisaje y su contribución al mantenimiento del bosque a través de la dispersión de semillas. En cambio, el gremio insectívoro requiere características especiales de bosque a nivel local (Stouffer y Bierregaard, 1995), si hay cambios en la estructura de la vegetación esto puede llevar a la disminución de especies insectívoras y generar cambios en las cascadas tróficas (Sekercioglu, 2012; Morante-Filho et al., 2015).

Inicialmente el impacto del uso de la tierra y el cambio en la estructura del paisaje se analizaba mediante una aproximación clásica que permite entender los cambios en la diversidad de especies analizando la abundancia, la riqueza de especies y los índices de diversidad y equidad (Córdova-Tapia y Zambrano, 2015). Con este enfoque, el estudio de las comunidades se basa en el análisis de la diversidad taxonómica, pero esto supone una equivalencia ecológica entre las especies (Chave, 2004). Pero no se tiene en cuenta que el impacto en los procesos ecosistémicos puede ser mayor o menor si hay pérdida o adición de especies dependiendo de sus rasgos funcionales (Tilman et al., 1997). Se recomienda que el estudio de diversidad taxonómica se complemente con métricas ecológicas para entender mejor el impacto de la transformación del paisaje en la biodiversidad (Pereira et al., 2013). A partir de aquí surge la diversidad funcional como una propuesta clave para entender la relación entre diversidad, estructura de comunidades y funcionamiento de ecosistemas (Tilman et al., 1997; Díaz y Cabido, 2001). En ese sentido, el

primer paso para evaluar diversidad funcional es identificar los rasgos funcionales, rasgos biológicos que afectan el desempeño de los organismos y se pueden relacionar con los procesos ecosistémicos, la estabilidad de los ecosistemas, las interacciones biológicas y la modificación del hábitat (Hooper et al., 2005; Violle et al., 2007; Villéger et al., 2010). Se ha demostrado que la diversidad funcional de las comunidades de aves se ve afectada por las condiciones ambientales particulares, como los gradientes ambientales y la transformación del paisaje (Jarzyna et al., 2020). Por ejemplo, según el análisis de Luck y colaboradores (2012) para el gremio de las aves frugívoras, la capacidad de moverse entre parches de hábitat puede determinar la repuesta de una especie a la disminución de la conectividad del paisaje y su contribución al mantenimiento del bosque a través de la dispersión de semillas. En cambio, el gremio insectívoro requiere características especiales de bosque a nivel local (Stouffer y Bierregaard, 1995), si hay cambios en la estructura de la vegetación esto puede llevar a la disminución de especies insectívoras y generar cambios en las cascadas tróficas (Sekercioglu, 2012; Morante-Filho et al., 2015).

El embalse de Topocoro o Hidrosogamoso se encuentra en el departamento de Santander, en el Magdalena medio. Este embalse cubre aproximadamente 7000 Ha. Desde la construcción del embalse se han realizado estudios de diversidad taxonómica, pero aún no se ha analizado cómo los cambios en la estructura de la vegetación han generado cambios en la diversidad taxonómica y tampoco se han hecho estudios sobre la diversidad funcional de la comunidad de aves que allí se encuentran. Por lo tanto, este estudio, bajo la modalidad de pasantía de investigación, tiene como objetivo evaluar la diversidad taxonómica y funcional de aves frugívoras e insectívoras asociados a dos paisajes de la zona de influencia del embalse de Topocoro – Santander.

1. Objetivos

Objetivo General

Caracterizar la diversidad taxonómica y funcional de aves frugívoras e insectívoras asociadas a dos paisajes de la zona de influencia del embalse de Topocoro – Santander.

Objetivos Específicos

Analizar la diversidad taxonómica de la comunidad de aves frugívoras e insectívoras.

Caracterizar la estructura de la vegetación en los dos sitios de muestreo.

Determinar la diversidad funcional en aves frugívoras e insectívoras usando índices de riqueza, divergencia y especialización funcional.

Establecer la relación de la diversidad taxonómica y funcional con las características de la vegetación.

2. Competencias

Adquirir destreza en técnicas de campo para la caracterización y comparación de la estructura de la vegetación.

Adquirir destreza en técnicas de campo para la caracterización de la avifauna y el reconocimiento taxonómico de las especies.

Adquirir conocimientos y técnicas necesarias para la toma de datos morfológicos usando especímenes presentes en colecciones biológicas y en individuos colectados en campo mediante el uso de redes de niebla.

Conocer y aplicar análisis estadísticos para estimar la diversidad taxonómica y la diversidad funcional de la avifauna presente.

Elaborar correctamente informes concisos y con rigor científico.

3. Metodología

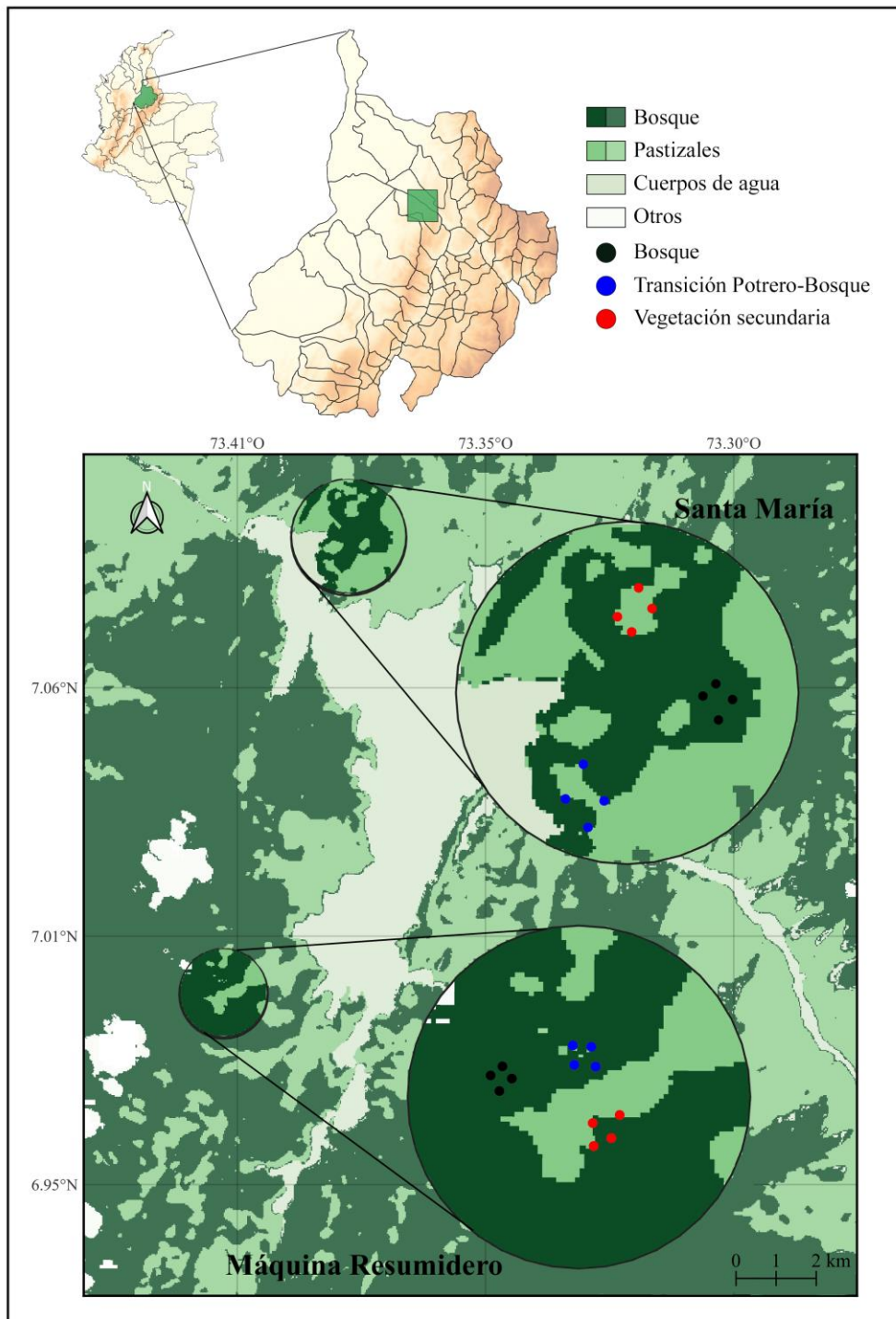
3.1 Área de estudio

El embalse de Topocoro se encuentra en el departamento de Santander, sobre el río Sogamoso, su jurisdicción está dividida entre los municipios de Girón, Betulia, Zapatoca, Los Santos y San Vicente de Chucurí. Dentro del área de estudio se eligieron dos sitios de muestreo (Figura 1): Santa María (sitio A), ubicado al margen derecho del embalse, en la vereda Caño Peroles, en el municipio de Girón y Máquina Resumidero (sitio B), ubicado al margen izquierdo del embalse en la vereda Sogamoso, en el municipio de Betulia. Santa María (A) es un lugar que presenta más cambios en la estructura del paisaje ya que se encuentra más intervenido por actividad antrópica; hay más presencia de potreros para ganado, cultivos, rastrojos bajos y altos, y parches de bosque ripario y fragmentos de remante de bosque secundario. El Sitio Máquina Resumidero (B), se caracteriza por ser una zona más conservada, presenta parches de rastrojo alto con más tiempo de regeneración, hacia la parte baja de la vereda hay mayor presencia de potreros y hacia la parte alta de la vereda, en la base de la serranía de la Paz, se encuentran rastrojos en diferentes estados de regeneración, cultivos de cacao, y bosque secundario de mayor tamaño y en mejor estado (GeBio, 2017). Esta región presenta una precipitación que obedece a un sistema bimodal, los meses de mayor lluvia son abril-mayo y octubre-noviembre (IDEAM, 2014). La temporada húmeda de octubre-noviembre presenta en promedio una precipitación mensual 235 mm y una temperatura de 27.5 °C, y la temporada seca de junio y julio en promedio la precipitación es de 120 mm y la temperatura de 25 °C (Karger et al., 2017) (Apéndice B).

Se realizaron 4 salidas de campo, 2 salidas de campo por cada sitio de muestreo; las dos primeras salidas fueron de cinco días cada una, dos días destinados a la caracterización de la vegetación y los otros tres días dedicados a la observación y registro de especies de aves, un día por cobertura. Estas dos primeras salidas de campo coincidieron con la temporada climática húmeda (octubre y noviembre). Las últimas dos salidas de campo fueron de tres días cada una, un día por cobertura destinados al registro y observación de aves y coincidieron con la temporada climática seca (junio y julio). En Santa María la primera salida de campo se realizó la segunda semana de octubre del 2021 y la segunda salida de campo en la tercera semana de julio del 2022. En Máquina Resumidero la primera salida de campo se realizó la primera semana de noviembre del 2021 y la segunda salida del campo se realizó la tercera semana de julio del 2022.

Figura 1

Mapa del área de estudio; Santa María y Máquina Resumidero



Nota: Mapa elaborado en QGIS. Corresponde a los dos sitios de muestreo Santa María (parte superior del mapa) y Máquina Resumidero (parte inferior del mapa). Las cuatro primeras

coberturas (bosque, pastizales, cuerpos de agua y otros) corresponden a una clasificación supervisada de una imagen satelital del 2020. Las tres últimas coberturas, los puntos en negro, azul y rojo (bosque, transición potrero bosque y vegetación secundaria, respectivamente) corresponden a las coberturas asignadas y muestreadas para el presente estudio, estos puntos corresponden a cada una de las parcelas muestreadas y el área donde se hicieron las respectivas observaciones y registros de las aves.

3.2 Toma de datos

3.2.1 Caracterización de la vegetación

Para describir y comparar la estructura vegetal de los dos sitios de muestreo, se seleccionaron en cada sitio tres puntos que correspondieron a tres coberturas distintas: 1) bosque, que se caracteriza por ser puntos más conservados, con una mayor densidad de árboles y arbustos y con una intervención antropogénica menor, 2) vegetación secundaria, se caracteriza por la presencia de arbustos y plantas leñosas propios de las primeras etapas de sucesión, puntos que anteriormente habían sido usados para cultivos o ganadería y que se encontraban cerca de las casas y vías principales, y 3) transición potrero-bosque, se caracteriza por presentar potreros activos cubiertos con estrato herbáceo y bordeado por parches de bosque (Figura 2). Cada punto estuvo separado por una distancia mínima de 500 m y en cada punto se establecieron 4 parcelas de 10m x 10m siguiendo a Vallejo-Joyas et al. (2005) con una distancia mínima de 150 m entre ellas. En cada una de las parcelas se midieron las siguientes variables teniendo en cuenta solo aquellos individuos que tuvieran un DAP \geq 10cm: 1) diámetro a la altura del pecho (DAP \geq 10cm), 2) altura de los árboles desde la base hasta la copa, 3) cobertura del dosel usando un lente ojo de pez que permite la toma de fotografías hemisféricas usando la aplicación Canopeo (Oklahoma State University, 2015), y 4) Número total de árboles.

Figura 2

Coberturas muestreadas en el área de estudio



Nota: Las fotos corresponden a: A) Transición potrero-bosque B) Vegetación secundaria C) Bosque.

3.2.2 Muestreo de aves

En cada una de las tres coberturas establecidas por sitio se ubicaron 6 puntos de conteo cada 100 metros con un radio fijo de 25m y un tiempo de 25 minutos, y se registraron las especies observadas, siguiendo la metodología de Bibby et al. (2000). Las observaciones fueron realizadas por una persona, se hicieron con binoculares Bushnell 8x42, en jornadas de 6 a 10 am y de 3 a 5 pm durante un día por cobertura por cada salida de campo, para un esfuerzo total de muestreo entre las dos salidas de campo de 12 horas por cobertura. Debido a que la pasantía se enfoca en aves de los gremios frugívoros e insectívoros se excluyeron aves rapaces y vencejos. Como metodología complementaria se usaron dos redes de niebla de 3 x 12 m y una red de 3 x 8 m en cada cobertura, que fueron ubicadas en lugares de paso para las aves, como trochas, corredores de vegetación, cañadas, filos de montañas, caminos y bordes de bosque, de acuerdo con la disponibilidad de espacio y características del terreno. Las redes de niebla se abrieron de 6

am a 10 am durante un día por cobertura por cada salida de campo y se revisaron cada 20 minutos, para un total de 8 horas de esfuerzo de muestreo por cobertura entre las dos salidas de campo.

Las aves que fueron capturadas en campo se identificaron utilizando una guía ilustrada de campo (Ayerbe, 2019) y se tomaron medidas de rasgos morfométricos utilizando un calibrador, una pesola y regla, y posteriormente se liberaron.

3.2.3 Medidas de rasgos funcionales

Siguiendo el protocolo de López-Ordoñez et al. (2016) se seleccionaron 6 rasgos morfométricos (alto del pico, ancho del pico a la altura de las narinas, longitud del culmen total, cuerda del ala cerrada, longitud del tarso y longitud de la cola,) y 2 rasgos de historia de vida (dieta y estatus migratorio). Estos rasgos se midieron en dos machos y dos hembras por especie en especímenes capturados en redes de niebla durante la fase de campo y en especímenes presentes en la Colección de Aves del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander y en la Colección de Aves del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Para las medidas que no se pudieron tomar en campo o en colecciones, debido a que algunas especies en colecciones no presentaban los pesos en las etiquetas o no estaban completas las plumas caudales, estos valores faltantes se tomaron de la base de datos de medidas morfométricas para aves de Colombia y del mundo de Montoya et al. (2018) y de Tobias et al. (2022) respectivamente.

Para la clasificación de las aves en los gremios tróficos frugívoros e insectívoros se utilizó la base de datos de Wilman et al. (2014), y se tuvieron en cuenta solo aquellas especies cuyo porcentaje de dieta fuera igual o mayor al 60% en cada uno de los ítems alimenticios.

3.3 Análisis de datos

3.3.1 Análisis de diversidad taxonómica

A partir de los datos obtenidos en campo se construyó una matriz de abundancia de las especies frugívoras e insectívoras presentes en los sitios muestreados, las coberturas por sitio y por la temporada húmeda y seca. Se calculó la diversidad alfa mediante la riqueza específica (S) (Moreno, 2001), S es una medida del concepto de la riqueza de especies (Moreno et al., 2011), sacando el total de especies observadas en cada sitio. Se construyó una curva de rango-abundancia para cada sitio. Para cada uno de los sitios, las coberturas y las temporadas se calculó la diversidad verdadera propuesta por Jost (2006), la cual depende de los valores del orden de diversidad q y de la frecuencia de especies, los números de Hill. Si q es igual a 0 la diversidad es insensible a la frecuencia de especies, si q es igual a 1 todas las especies son incluidas sin tener en cuenta si son raras o comunes y si q es igual a 2 se favorecen las especies comunes (Jost, 2006). Se recomienda que el tamaño de muestra (N) sea grande para poder estimar de una forma correcta la riqueza de las especies no detectadas y el estimado de la cobertura, se recomienda que el valor estimado del porcentaje de cobertura sea de al menos 50% (Chao y Lee, 1992; Chao y Jost, 2012). Estos análisis se hicieron en el programa R utilizando el paquete de iNEXT el cual aplica el método bootstrap para obtener intervalos de confianza del 95% para cada diversidad y las muestras del estimado de cobertura. (Chao et al., 2022).

Finalmente, se calculó la diversidad beta para comparar la composición de las especies frugívoras e insectívoras entre sitios, entre coberturas y entre temporadas usando la metodología propuesta por Baselga (2009). Se calculó 1) el índice de disimilitud de Sorensen (β SOR) que permite estimar la diversidad beta total como la composición de especies de los dos sitios muestreados, 2) el recambio especies, que consiste en la sustitución de especies de un sitio por

especies distintas de otro sitio, utilizando el índice de disimilitud de Simpson (β SIM), y 3) la pérdida o ganancia de especies utilizando el componente de anidamiento de la disimilitud de Sorensen (β NES). Estos índices se calcularon utilizando el paquete betapart (Baselga et al, 2022) en R.

3.3.2 Análisis de diversidad funcional

Se construyó una matriz con las especies frugívoras e insectívoras para los sitios, coberturas y temporadas, cada especie estuvo representada por su abundancia y se hizo una segunda matriz con la información de los rasgos funcionales de las especies. Siguiendo la metodología propuesta por Magneville et al. en el 2022 se calculó la distancia funcional entre todas las especies aplicando la distancia de Gower ya que no todos los rasgos presentaban valores continuos, después se generaron y se evaluaron los espacios funcionales basados en PCoA mediante el índice de desviación media absoluta (mad), donde el espacio funcional seleccionado es aquel cuyo índice presenta menor valor (Apéndice C) y finalmente se calculan las correlaciones entre los diferentes rasgos y los ejes del espacio funcional (Apéndice D). Los análisis de diversidad funcional se hicieron usando índices de riqueza funcional FRic, dispersión funcional (FDis) y de especialización funcional FSpe (Villéger et al., 2008, Villéger et al., 2010). Reconocidos como parte de los componentes principales de la diversidad funcional (Córdova-Tapia y Zambrano, 2015). Estos análisis se realizaron con el paquete de mFD (Magneville, 2022) en R.

3.3.3 Características de la vegetación, diversidad taxonómica y diversidad funcional

La relación entre la abundancia de las especies de aves frugívoras e insectívoras presentes en los dos sitios de muestreo y de las variables de vegetación se hizo mediante un análisis de correspondencia canónica (CCA) (Badii y Castillo, 2017); éste permite entender la ordenación de

la comunidad de aves identificando los patrones de variación en la composición de especies que son explicadas por variables ambientales (Ter Braak, 1986). Estos análisis se hicieron en el paquete VEGAN (Oksanen et al., 2022) de R. Finalmente, se describió la asociación de la composición de aves de Santa María y Máquina resumidero con las características de la vegetación y con la diversidad funcional.

4. Resultados

4.1 Diversidad taxonómica

4.1.1 Composición de especies

En Santa María, a nivel general y en total, se registraron 562 individuos pertenecientes a 11 órdenes, 30 familias, 83 géneros y 96 especies. De los cuales, 220 individuos se clasificaron como aves insectívoras pertenecientes a 5 órdenes, 18 familias, 46 géneros y 51 especies. Las especies más abundantes fueron *Campylorhynchus griseus*, *Tyrannus melancholicus*, *Cercomacra nigricans*, *Myiozetetes cayanensis* y *Habia gutturalis*. Se registraron 77 individuos frugívoros pertenecientes a 3 órdenes, 7 familias, 11 géneros y 12 especies. Las especies con mayor abundancia fueron *Ortalis columbiana*, *Cyanocorax affinis*, *Stelpnia cyanicollis*, *Euphonia lanirostris* y *Chlorophanes spiza* (Figura 3, Apéndice A).

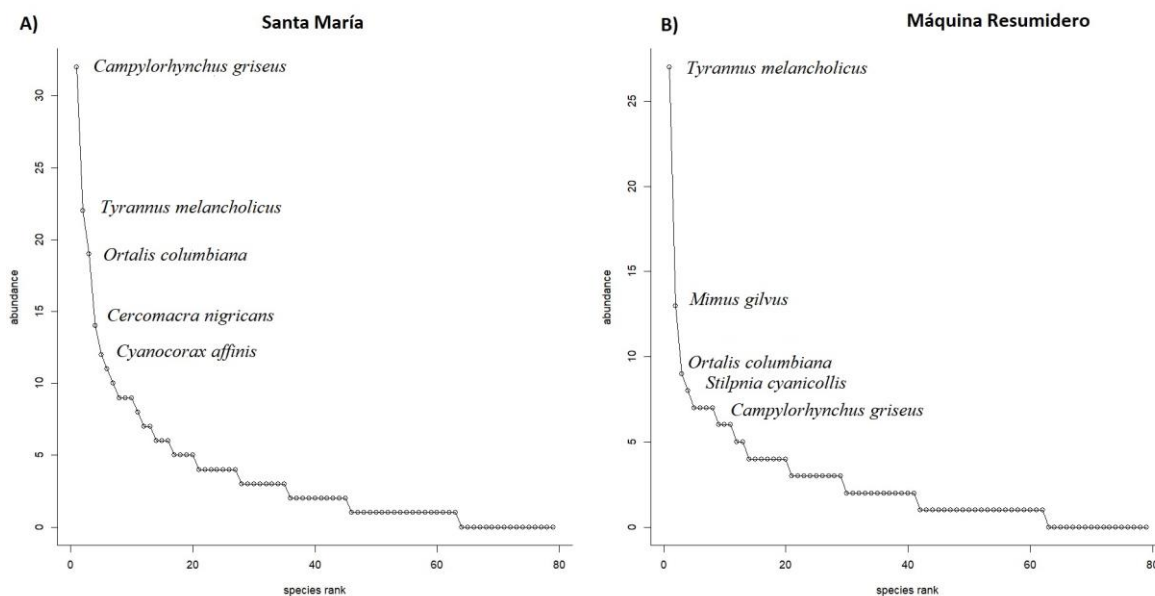
Por otra parte, en Máquina Resumidero en total y a nivel general se registraron 414 individuos pertenecientes a 12 órdenes, 31 familias, 88 géneros y 92 especies. De los cuales, 156 individuos se clasificaron como aves insectívoras pertenecientes a 5 órdenes, 18 familias, 44 géneros y 47 especies. Las especies con mayor abundancia fueron *Tyrannus melancholicus*, *Mimus gilvus*, *Campylorhynchus griseus*, *Campylorhynchus zonatus* y *Habia gutturalis*. Se registraron 31 individuos frugívoros pertenecientes a 3 órdenes, 7 familias, 15 géneros y 15

especies. Las especies con mayores abundancias fueron *Ortalis columbiana*, *Stilpnia cyanicollis*, *Manacus manacus*, *Dacnis lineata* y *Machaeropterus striolatus* (Figura 3, Apéndice A).

Se observaron cuatro especies migratorias boreales *Empidonax virescens*, *Setophaga castanea*, *Parkesia noveboracensis* y *Piranga rubra*, dos especies endémicas (distribuidas exclusivamente en territorio colombiano) *Melanerpes pulcher* y *Habia gutturalis*, y cuatro especies casi endémicas (la mayor parte de su distribución se encuentra en Colombia) *Forpus conspicillatus*, *Thamnophilus nigriceps*, *Thamnophilus multistriatus* y *Cyanocorax affinis*. Finalmente, según la lista roja de especies amenazadas IUCN, de las especies observadas, *Ramphastos ambiguus* y *Habia gutturalis* se encuentran en la categoría casi amenazada (NT).

Figura 3

Curva de rango-abundancia de las especies frugívoras e insectívoras registradas en Santa María y Máquina Resumidero



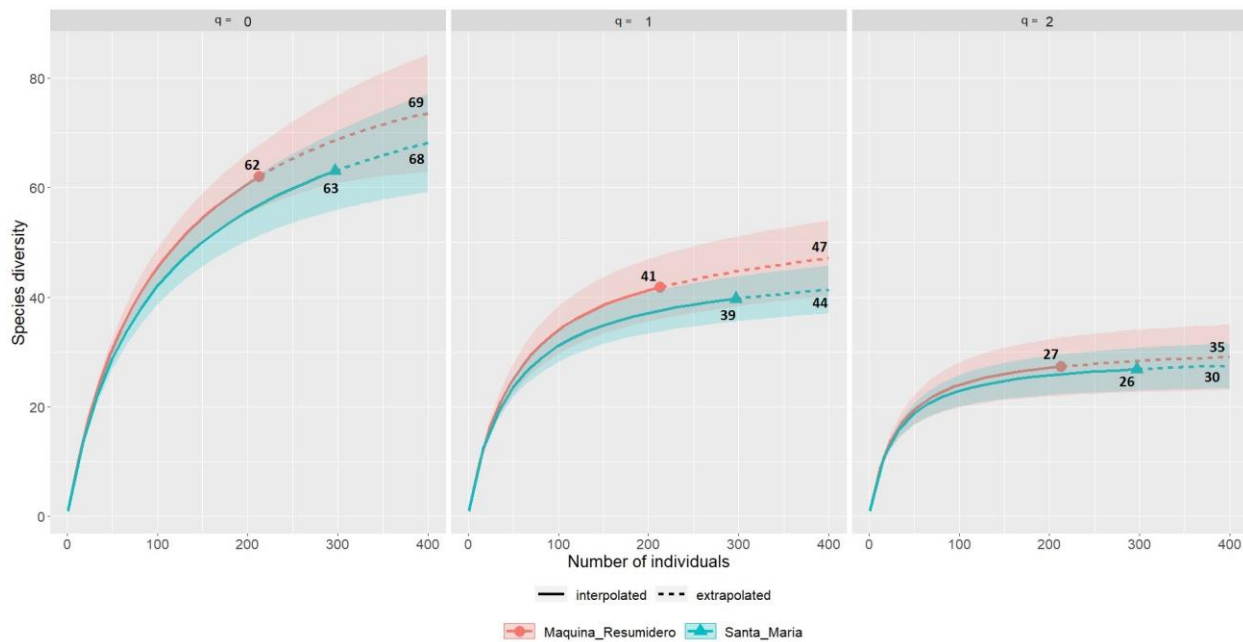
Nota: El gráfico A) corresponde a Santa María y el gráfico B) corresponde a Máquina Resumidero, nos muestra las 5 especies que presentaron mayor abundancia.

4.1.2. Diversidad alfa

4.1.2.1 Entre sitios. El estimador de la cobertura de muestreo (SC) entre los sitios para las aves frugívoras e insectívoras arrojó valores de un 93% para Santa María y 90% para Máquina Resumidero. Para los números de Hill (Figura 4) los valores fueron similares entre los sitios: en el orden $q=0$ para la riqueza de especies se registraron 63 de las 68 especies de aves esperadas y 62 de 69 especies esperadas para cada sitio respectivamente. Para el orden $q=1$, la diversidad en número efectivo de especies fue mayor en Máquina Resumidero con 41 especies y Santa María con 39 especies. Por último, en el orden $q=2$ la equidad fue similar para Santa María y Máquina Resumidero. Como se observa en la figura los intervalos de confianza se superponen en los tres ordenes ($q=0$, $q=1$ y $q=2$) no hay diferencias significativas a un intervalo de confianza del 5% entre las riquezas de las especies esperadas (Chao y Jost, 2012).

Figura 4

Rarefacción y extrapolación de la diversidad de aves frugívoras e insectívoras (Números de Hill) en Santa María y Máquina Resumidero



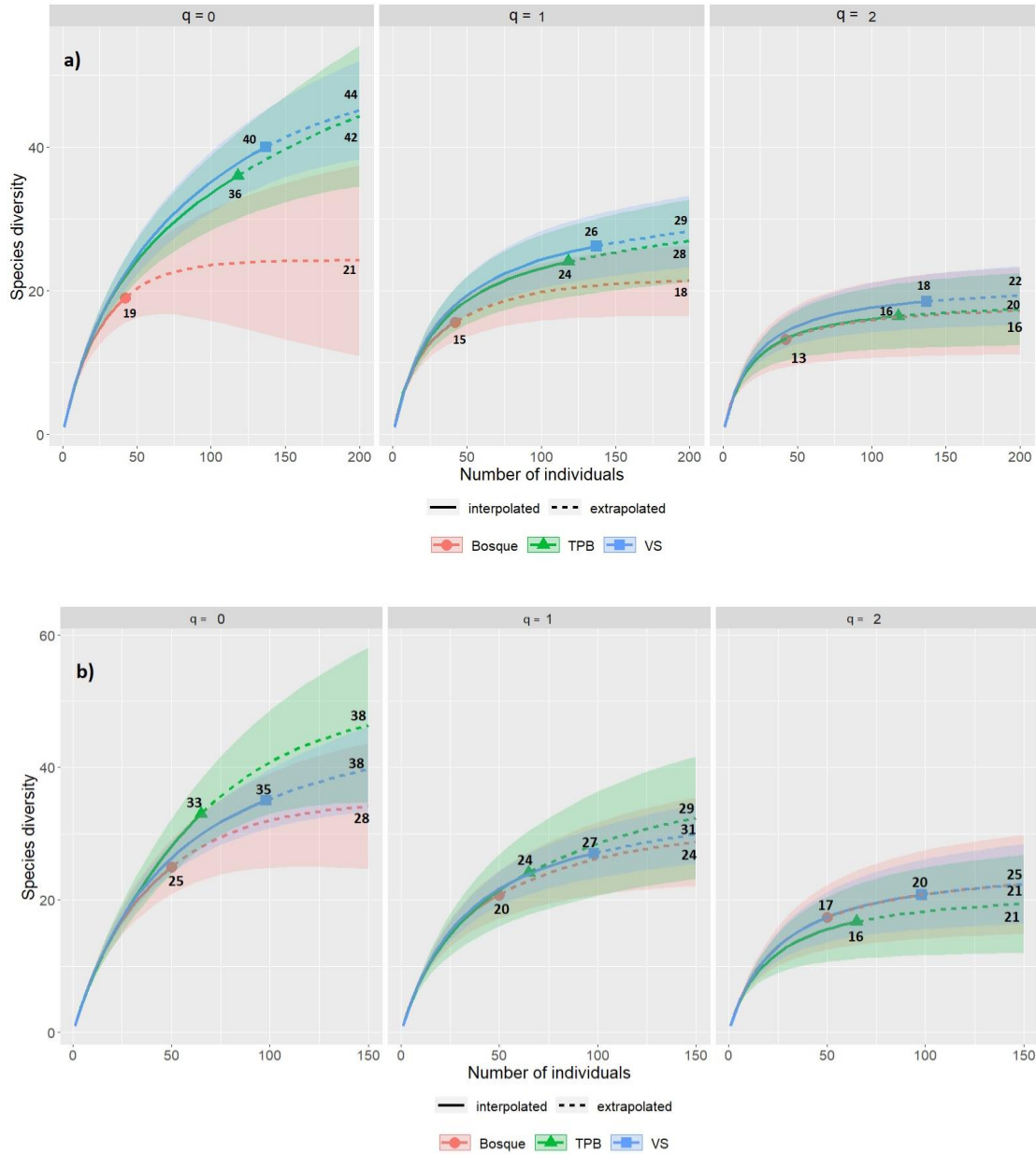
Nota: Las gráficas corresponden al orden $q=0$ riqueza de especies, al orden $q=1$ diversidad y al orden $q=2$ equidad – dominancia.

4.1.2.2 Entre coberturas. El estimador de la cobertura de muestreo (SC) para las coberturas en Santa María (Figura 5 a) arrojó valores de un 87%, 89% y 81% para las coberturas de transición potrero-bosque, vegetación secundaria y bosque respectivamente. Para los números de Hill en el orden $q=0$ hubo mayor riqueza en la cobertura de vegetación secundaria donde se observaron 40 especies de 44, seguido de la transición potrero-bosque (36 especies de 42) y finalmente en el bosque con 19 de 21 especies esperadas. En el orden $q=0$ se observa una diferencia entre la riqueza presente en la cobertura de vegetación secundaria con respecto a la cobertura de potrero ya que la curva del intervalo de confianza no se sobrepone. En el orden $q=1$, la diversidad en número efectivo de especies fue de 24, 26 y 15 en transición potrero-bosque, vegetación secundaria y bosque respectivamente. Finalmente, según el orden $q=2$ hubo mayor equidad en la cobertura de vegetación secundaria con 18 especies efectivas.

En Máquina Resumidero (Figura 5 b) el estimador para la cobertura de muestreo arrojó valores de un 89%, 76% y 71% para las coberturas de vegetación secundaria, bosque y transición potrero-bosque respectivamente. De acuerdo con los números de Hill, en el orden $q=0$ hubo mayor riqueza en la cobertura de vegetación secundaria donde se observaron 35 especies de 38, el más bajo fue el bosque (25 especies de 28) y finalmente transición potrero-bosque donde se observaron 33 de 38 especies esperadas, esta diferencia en la riqueza verdadera no es significativa ya que no se puede diferenciar entre las curvas del intervalo de confianza. En el orden $q=1$, la diversidad en términos de número efectivo de especies fue de 27, 24 y 20 en las coberturas de vegetación secundaria, transición potrero-bosque y bosque respectivamente. Por último, según el orden $q=2$ hubo mayor equidad en la vegetación secundaria con 20 especies efectivas.

Figura 5

Rarefacción y extrapolación de la diversidad de aves frugívoras e insectívoras (Números de Hill) entre las coberturas



Nota: Las gráficas corresponden al orden $q=0$ riqueza de especies, al orden $q=1$ diversidad y al orden $q=2$ equidad – dominancia. A) Corresponde a Santa María y B) Corresponde a Máquina

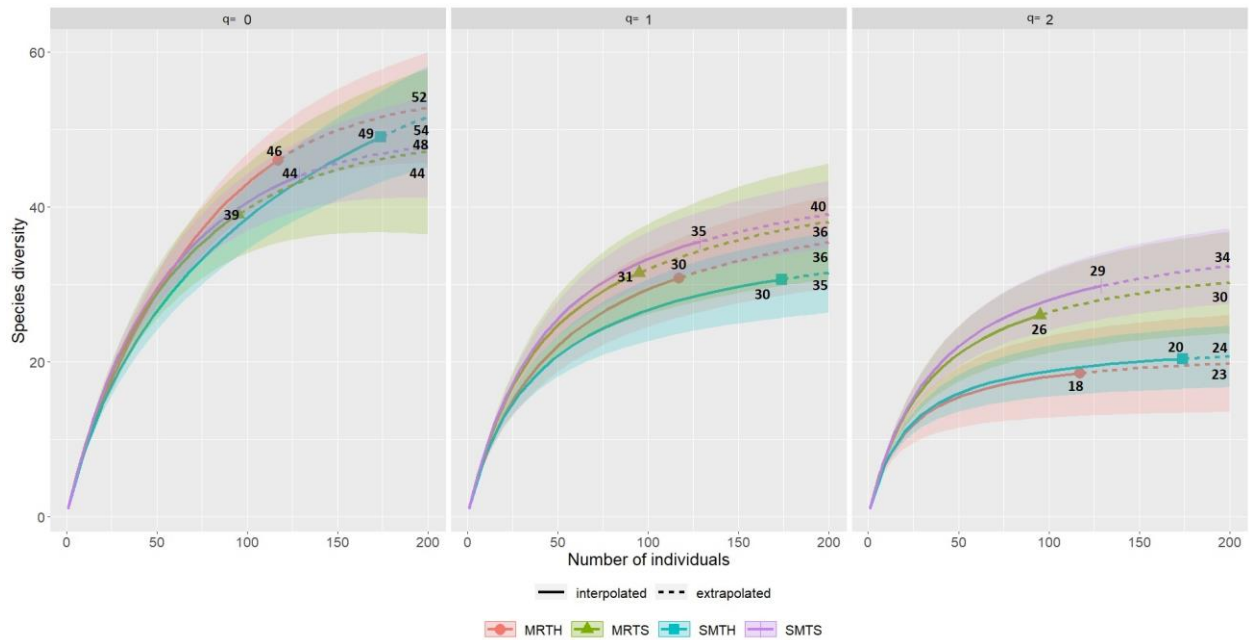
Resumidero. Las abreviaturas corresponden a transición potrero bosque (TPB) y vegetación secundaria (VS).

4.1.2.3 Entre temporada húmeda y seca. Los valores arrojados para el estimador de la cobertura de muestreo (SC) de especies fue de un 89% para Santa María en temporada húmeda (SMTH), 90% para Santa María en temporada seca (SMTS), 84% para Máquina Resumidero en temporada húmeda (MRTH) y 84% para Máquina Resumidero en temporada seca (MRTS). Según los números de Hill, en el orden $q=0$ la riqueza de especies fue más alta en SMTH donde se registraron 49 de 54 especies esperadas, seguido de MRTH (46 de las 52 especies) y SMTS (44 de las 48 especies), y el valor más bajo de riqueza fue en MRTS con 39 especies de las 44 esperadas (Figura 6), pero no hubo diferencias en la riqueza verdadera de especies.

El orden $q=1$, los valores de mayor diversidad se encontraron en SMTS con 35 especies efectivas, seguido de MRTS con 31, SMTH y MRTH con 30 especies efectivas cada uno. Por último, en el orden $q=2$, se presentó mayor equidad en SMTS y menor equidad en MRTH.

Figura 6

Rarefacción y extrapolación de la diversidad de aves frugívoras e insectívoras (Números de Hill) entre los sitios de muestreo Santa María y Máquina Resumidero en temporada seca y húmeda



Nota: Las gráficas corresponden al orden $q=0$ riqueza de especies, al orden $q=1$ diversidad y al orden $q=2$ equidad – dominancia. Las abreviaciones corresponden a SMTH Santa María temporada húmeda (SMTH), Santa María temporada seca (SMTS), Máquina Resumidero temporada húmeda (MRTH) y Máquina Resumidero temporada seca (MRTS).

4.1.3. Diversidad Beta

4.1.3.1 Entre sitios. La diversidad beta entre los sitios de Santa María y Máquina Resumidero muestra que los sitios se diferencian en un 26% (β SOR), con un recambio de especies y una diferenciación en la riqueza de la riqueza por anidamiento de 25% (β SIM) y 0.5% (β SNE), respectivamente. Santa María y Máquina Resumidero presentan valores similares de la diversidad beta total (β SOR), un 63% para cada sitio, presentan un recambio de especies del 52% y del 59% (β SIM) respectivamente y una diferencia de la riqueza de las especies por anidamiento de 11% y 5% (β SNE) (Tabla 1).

4.1.3.2 Entre coberturas. En Santa María se observó un mayor recambio de especies (β SIM) entre las coberturas de transición potrero-bosque y bosque con un 57%, transición potrero-bosque y vegetación secundaria con un 47% y finalmente entre vegetación secundaria y bosque con un 36%. Las coberturas de vegetación secundaria y bosque presentaron mayor diferenciación de la riqueza por anidamiento (β SNE) con un 22%, seguido de transición potrero-bosque y bosque con un 13% y finalmente transición potrero-bosque y vegetación secundaria con un 2%. En Máquina Resumidero se observó un mayor recambio de especies (β SIM) entre las coberturas de vegetación secundaria y transición potrero-bosque con un 57%, vegetación secundaria y bosque con un 56% y bosque y transición potrero-bosque con un 48%. Las tres coberturas no presentan una alta diferenciación de la riqueza de especies por anidamiento (β SNE), los valores oscilan entre un 1% y un 7% (Tabla 1).

4.1.3.3 Entre temporada húmeda y seca. Finalmente, en Santa María y Máquina Resumidero la diversidad beta total (β SOR) durante la temporada húmeda se está diferenciando en un 30% y en temporada seca en un 42%. Durante la temporada húmeda el recambio de especies (β SIM) fue de 28% y el valor para la diferencia en la riqueza de especies por anidamiento (β SNE) fue de un 2%. En temporada seca el recambio de especies (β SIM) fue de 38% y la diferenciación de la riqueza de especies por anidamiento (β SNE) fue de un 3.7% (Tabla 1).

Tabla 1

Valores de diversidad beta utilizando el índice de disimilitud de Sorensen comparando diferentes ensamblajes de la comunidad de aves frugívoras e insectívoras

	β SOR	β SIM	β SNE
Entre Santa María y Máquina Resumidero	0.264	0.258	0.005
Entre coberturas de Santa María	0.636	0.522	0.113
Entre coberturas de Máquina Resumidero	0.639	0.592	0.047
Entre temporada húmeda y seca	0.521	0.481	0.039

4.2 Diversidad funcional

Los índices utilizados para el análisis de la diversidad funcional de las aves frugívoras e insectívoras mostraron que entre Santa María y Máquina Resumidero la riqueza funcional (FRic)

fue alta, mientras que la dispersión funcional (FDis) y la especialización funcional (FSpe) es baja (Tabla 2). Los índices de diversidad funcional fueron contrastantes entre las coberturas para cada uno de los sitios. Para la riqueza funcional (FRic) en Santa María y Máquina Resumidero fue mayor en la cobertura de vegetación secundaria en contraste con el bosque y la transición potrero bosque respectivamente (Figura 7), la dispersión funcional (FDis) fue menor en la cobertura de transición potrero bosque en contraste con las coberturas de bosque y vegetación secundaria en Santa María y Máquina Resumidero respectivamente (Figura 8), la especialización funcional (FSpe) fue mayor en la cobertura de bosque con respecto a la cobertura de transición bosque potrero en ambos sitios (Figura 9).

La riqueza funcional (Fric) fue mayor en Máquina Resumidero en temporada húmeda y en Santa María en temporada. La especialización funcional (FSpe) se mantuvo constante en los dos sitios y en las dos temporadas. Finalmente, la dispersión funcional (FDis) fue mayor durante la temporada seca en Máquina Resumidero y durante la temporada húmeda en Santa María (Tabla 2).

Tabla 2

Índices de diversidad funcional del ensamblaje de aves frugívoras e insectívoras presentes en dos zonas de influencia del embalse de Topocoro

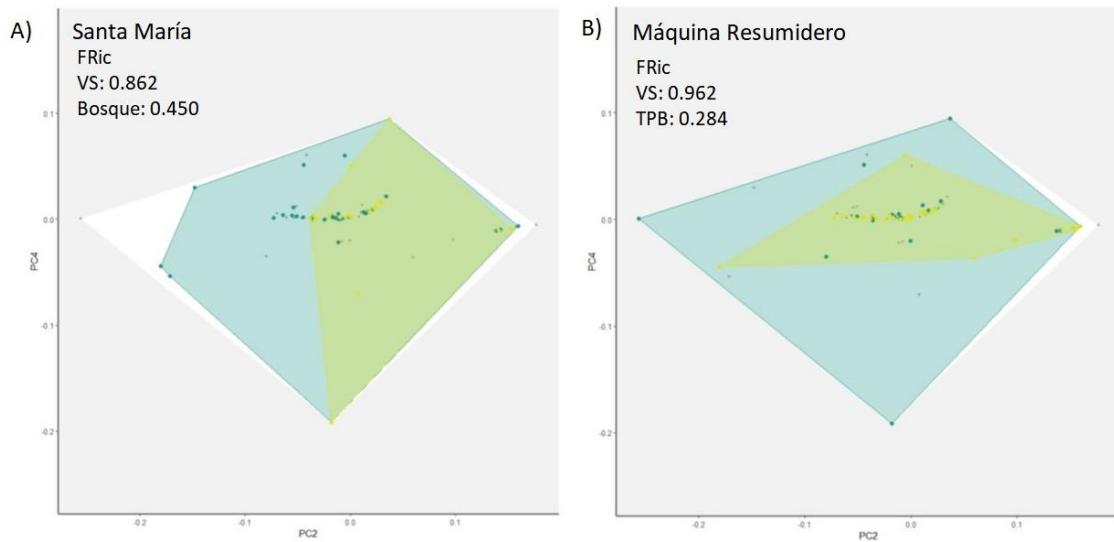
	Riqueza S	FDis	FRic	FSpe
Diferencias entre sitios				
Santa María	63	0.302	0.961	0.250
Máquina Resumidero	61	0.321	1.000	0.270
Diferencias entre coberturas de Santa María				

Transición potrero-bosque	36	0.265	0.473	0.235
Vegetación secundaria	40	0.316	0.861	0.255
Bosque	19	0.348	0.450	0.278
Diferencias entre coberturas de Máquina Resumidero				
Vegetación secundaria	34	0.365	0.961	0.296
Bosque	24	0.335	0.805	0.302
Transición potrero-bosque	32	0.238	0.284	0.207
Diferencias entre temporada húmeda y seca				
SMTH	49	0.311	0.796	0.253
SMTS	44	0.290	0.944	0.252
MRTH	45	0.310	0.843	0.261
MRTS	38	0.337	0.898	0.283

Notas: Las abreviaciones corresponden a Santa María temporada húmeda (SMTH), Santa María temporada seca (SMTS), Máquina Resumidero temporada húmeda (MRTH) y Máquina Resumidero temporada seca (MRTS). Los índices de diversidad funcional corresponden a riqueza funcional (FRic), dispersión funcional (Fdis) y especialización funcional (Fspe).

Figura 7

Riqueza funcional FRic entre las coberturas más contrastantes en A) Santa María y B) Máquina Resumidero

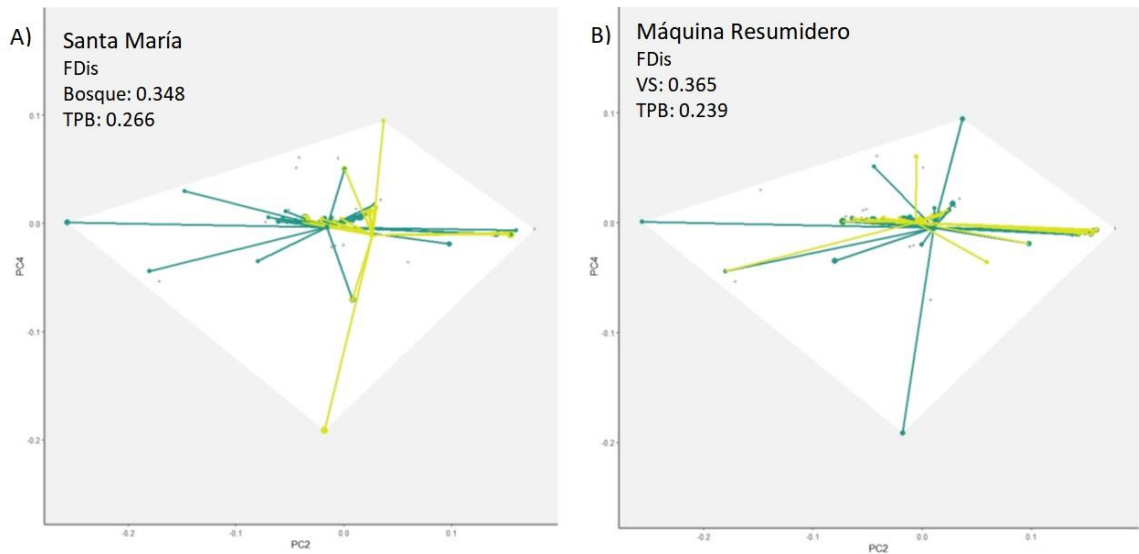


Nota: La riqueza funcional es la cantidad de espacio funcional ocupado por las especies de una comunidad independientemente de sus abundancias (Villéger et al 2010; Córdova-Tapia y Zambrano, 2015). La abreviación corresponde a vegetación secundaria (VS). El polígono y puntos azules corresponde al espacio convexo y a las especies de vegetación secundaria para Santa María y Máquina Resumidero. El polígono y puntos verdes corresponde al espacio convexo y a las especies de bosque en Santa María y transición potrero bosque en Máquina Resumidero.

Figura 8

Dispersión funcional Fdis entre las coberturas más contrastantes en A) Santa María y B)

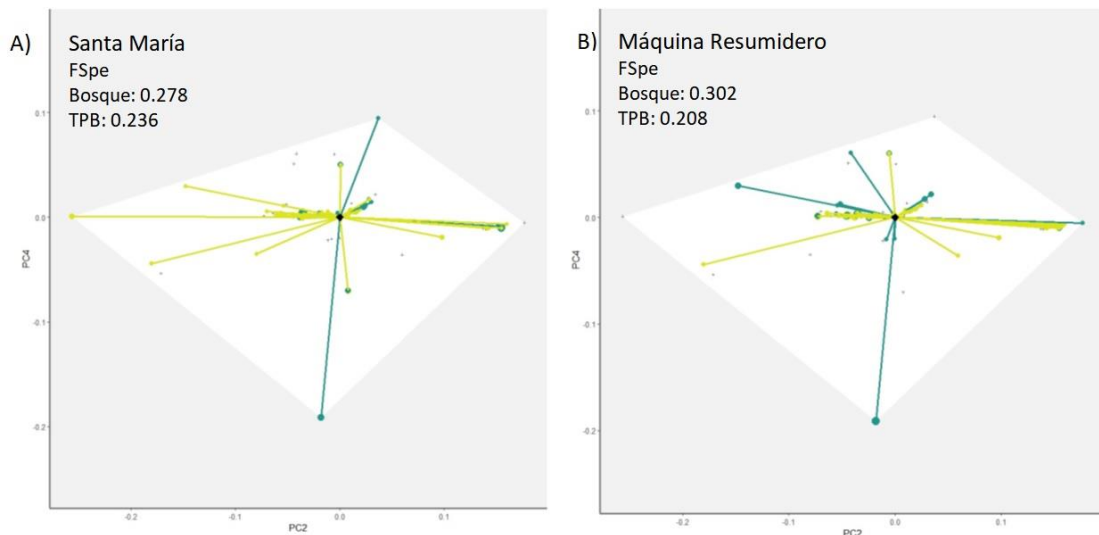
Máquina Resumidero



Nota: La dispersión funcional es la distancia media de las especies individuales al centroide de las especies en la comunidad (Laliberté y Legendre, 2010). La abreviación corresponde a transición potrero bosque (TPB). En azul se encuentran las coberturas de transición potrero bosque para Santa María y vegetación secundaria para Máquina Resumidero. En verde las coberturas de bosque para Santa María y Máquina Resumidero.

Figura 9

Especialización funcional F_{spe} entre las coberturas más contrastantes en A) Santa María y B) Máquina Resumidero



Nota: Una especie es funcionalmente más especialista mientras más alejada se encuentre del centro de gravedad de la comunidad regional (Villéger et al 2010; Córdova-Tapia y Zambrano, 2015). La abreviación corresponde a vegetación secundaria (VS). Para Santa María y Máquina Resumidero el color azul corresponde a la cobertura de bosque y el verde a la cobertura de transición potrero bosque.

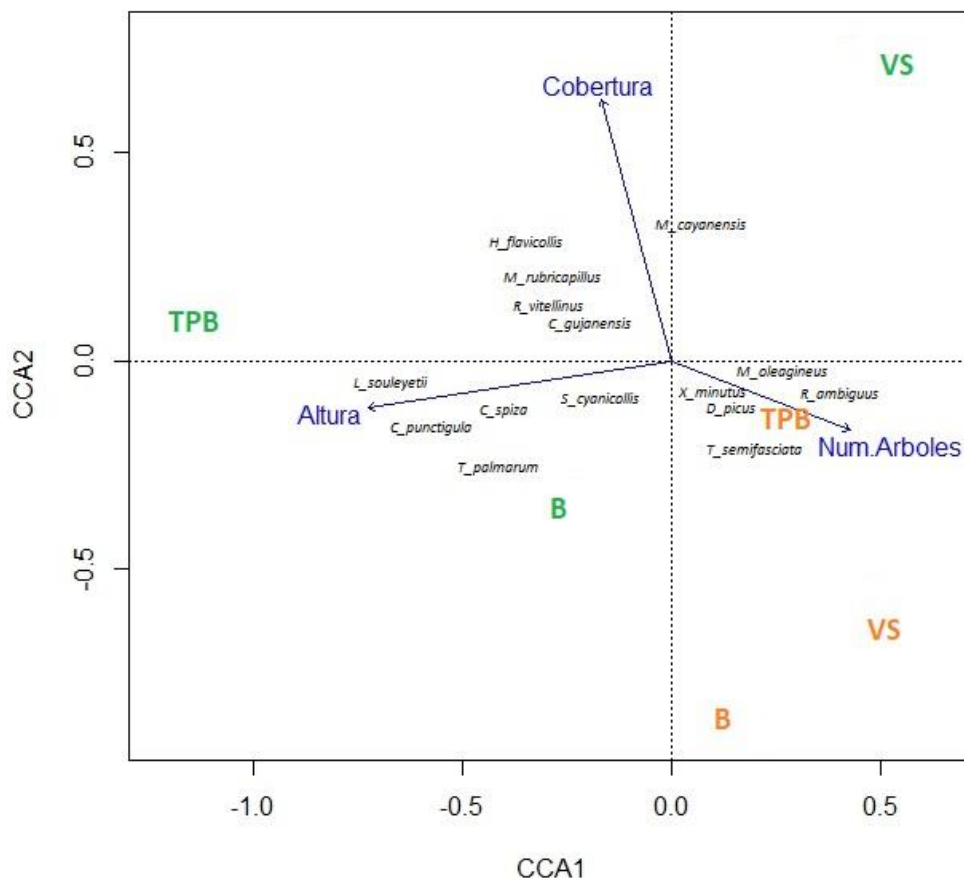
4.3 Características de la vegetación, diversidad taxonómica y diversidad funcional

Se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA) que se ajusta a modelos unimodales y puede tener una mejor explicación biológica. Para el análisis de correspondencia canónica (CCA) los valores de colinealidad (Factor de la inflación de la varianza) estuvieron por debajo del 10 para las siguientes variables: Cobertura (1.36), Número de árboles (1.99) y Altura de los árboles (1.58). El ajuste del modelo del CCA con las variables seleccionadas está explicando el 59% de la varianza, pero el modelo con las tres variables no es significativo

($F=0.990$, $p = 0.425$). De las tres variables de vegetación, solo el Número de árboles fue significativa ($F=1.345$, $p=0.025$). Lo que indica que no hay asociación entre las variables de vegetación y la composición de las especies frugívoras e insectívoras en los sitios muestreados (Figura 10).

Figura 10

Análisis de correspondencia canónica (CCA) entre la abundancia de las especies de aves y las coberturas para Santa María y Máquina Resumidero



Nota: Las abreviaciones corresponden a las siguientes coberturas: Transición potrero bosque (TPB), vegetación secundaria (VS) y bosque (B). Las coberturas que están en verde

corresponden a Santa María y las coberturas que están en naranja corresponden a Máquina Resumidero.

5. Discusión

5.1 Diversidad taxonómica

La riqueza de especies de aves registradas para Santa María (96 sp) y Máquina Resumidero (92 sp) es inferior al monitoreo que se realizó en 2017 en ISAGEN con un registro de 148 y 165 especies, respectivamente para cada uno de los sitios (GeBio, 2017), es importante tener en cuenta que durante el monitoreo de ISAGEN se tuvieron en cuenta todos los gremios tróficos y en sus observaciones se registraron vencejos y rapaces, especies que para esta pasantía no se tuvieron en cuenta. Esta diferencia en la riqueza de especies se puede deber al esfuerzo de muestreo. Ya que en el monitoreo de ISAGEN se realizaron 24 salidas de campo con un esfuerzo de muestreo de 580 horas usando redes de niebla, es importante aclarar que en ese estudio se estaban muestreando 6 localidades, 4 más de las presentes en este estudio. Y como lo expresa Gotelli (2008) para describir mejor la riqueza de especies de una comunidad es necesario hacer un amplio muestreo y el tiempo dedicado al muestreo de aves fue mucho mayor en el monitoreo que se hizo en 2017. En comparación con un estudio realizado por Sarmiento-Garavito y colaboradores (2022) en la zona rural al noreste los Andes colombianos registraron 63 especies de aves en total, 55 de estas especies se registraron en pastizales arborizados y 44 especies en bosques fragmentados. Las especies registradas para este estudio es menor a pesar de que tuvieron un esfuerzo de muestreo mucho mayor (420 horas aproximadamente), esto debido a la capacidad de detección que puede afectar la riqueza de especies de acuerdo a la cobertura en la que se encuentran, ya que para este muestreo era necesaria una observación directa de las

especies y la heterogeneidad y complejidad de los bosques fragmentados limitaban la observación, lo que concuerda también con que esa cobertura se registraran menos especies que en los pastizales arborizados donde la observación de aves se facilita. Igual que para Santa María y Máquina Resumidero, entre más heterogéneo y complejo el hábitat más difícil la observación de aves.

Algunas de las especies presentes en el monitoreo del 2017 del gremio insectívoro que no fueron observadas en el presente estudio son: *Machetornis rixosa*, *Microcerculus marginatus* y *Thamnophilus atrinucha* en Santa María y *Epinecrophylla fulviventris*, *Henicorhina leucosticta*, *Icterus mesomelas*, *Microbates cinereiventris* y *Pheugopedius fasciatoventris* en Máquina Resumidero. Para el gremio frugívoro: *Legatus leucophaeus* y *Tityra inquisitor* en Santa María y Máquina Resumidero. Con un mayor esfuerzo de muestreo se esperarían encontrar estas y otras especies más que permitan tener una mejor representación de la comunidad de aves de los gremios frugívoros e insectívoros.

En Santa María y Máquina Resumidero la diversidad (índice de Shannon) y la equidad (inverso del índice de Simpson) de las aves pertenecientes a los gremios frugívoros e insectívoros según los números de Hill $q=1$ y $q=2$, son muy parecidos en cada sitio, levemente mayor en Máquina Resumidero con una diferencia en la diversidad del 4.8%, esto nos indica que corresponden a las mismas especies de aves frugívoras e insectívoras en ambos sitios. Esto concuerda con la diversidad beta, la que nos muestra que la diferenciación en la composición de especies en ambos sitios es baja, y la diferenciación que hay (26%) entre ambos sitios es en mayor medida debido al recambio de especies. Según Calderón-Patrón y Moreno (2019), cuando dos comunidades presentan una riqueza similar no existe el anidamiento entre ellas, la diversidad beta es explicada por el recambio de especies y los valores de β_{SIM} y β_{SOR} son iguales o

similares. Santa María y Máquina Resumidero son dos sitios que comparten valores de temperatura, precipitación, vegetación, ambos hacen parte de la zona de influencia del embalse de Topocoro y se encuentran en el mismo rango altitudinal lo que confiere que las comunidades de aves que allí se distribuyen tengan cierto grado de similitud en su composición. Entre temporadas hubo una mayor riqueza durante la temporada húmeda tanto para Santa María y Máquina Resumidero, pero hubo una mayor diversidad y equidad durante la temporada seca para ambos sitios. Esta diferencia en la diversidad se dio por las siguientes especies que fueron avistadas únicamente en temporada seca; *Eucometis penicillata*, *Galbula ruficauda*, *Icterus chrysater*, *Ramphastos ambiguus* y *Saltator maximus*. Teniendo en cuenta que no se tomaron variables climáticas para mirar si estas influenciaban la composición de especies, la presencia y ausencia de estas especies en diferentes temporadas se puede deber a que en temporada húmeda las lluvias dificultan el proceso de observación de aves, ya que de las especies que solo se registraron para la temporada están asociadas a bosque, interior de bosque y vegetación secundaria alta (Ayerbe, 2019).

Máquina Resumidero aparentaba ser un sitio más conservado con respecto a Santa María y menos afectado por perturbaciones en el paisaje, ya que se encuentra en la base de la Serranía de la Paz, sigue siendo una zona rural enfocada a la actividad agrícola y ganadera, presentando similaridad con las coberturas muestreadas en Santa María, explicando así la poca diferencia en la riqueza de especies encontrada. Trzcinski et al. (1999) propuso que la presencia de aves en un ambiente puede verse más afectada por el tamaño del hábitat que por su fragmentación, mostrando así una capacidad de respuesta y movilidad de las aves a cambios en el paisaje. Por otra parte, no se muestreó en la parte alta de la montaña debido al difícil acceso a esta zona, y al

presentar una vegetación tan densa se necesitarían más horas de muestreo para poder hacer un buen registro de las especies de aves que allí se encuentran.

En Santa María y Máquina Resumidero hubo una mayor riqueza, diversidad y equidad de aves en la cobertura de vegetación secundaria. La cobertura de bosque presentó la menor riqueza y diversidad, esto se puede deber a un bajo esfuerzo de muestreo debido al difícil acceso a esta zona y a la difícil observación de las aves por la baja visibilidad. Las coberturas de Santa María y Máquina resumidero tienen una alta diversidad beta, con una diferenciación del 63% que se explica principalmente por el recambio de especies. En Santa María este recambio de especies se da principalmente entre las coberturas de transición potrero bosque y bosque, y entre las coberturas de transición potrero bosque y vegetación secundaria. En Máquina Resumidero el recambio de especies es mayor entre las coberturas de vegetación secundaria y transición potrero bosque. Este recambio de especies refleja una selección de las especies por el ambiente o por procesos de dispersión (Calderón-Patrón y Moreno, 2019; Baselga, 2012). Esto coincide con un estudio de Sarmiento-Garavito (2022) realizado en los Andes colombianos en el que propuso que las coberturas que son contrastantes en el paisaje como la cobertura de transición potrero bosque contribuyen al recambio de especies de aves, ya que actúan como puntos de conexión entre áreas abiertas y los fragmentos de bosque. Por otra parte, debido al grado de heterogeneidad que se observa en esta cobertura, hay una oferta de recursos tanto para aves especialistas de bosque como para las aves generalistas que se encuentran en zonas más abiertas o en la vegetación secundaria.

Esta mayor riqueza y diversidad en la cobertura de vegetación secundaria se puede explicar mediante la hipótesis de perturbación intermedia, en la que se propone que las áreas con una perturbación intermedia pueden albergar una mayor diversidad, y áreas con una perturbación

alta eliminan especies que no pueden recolonizar rápidamente y áreas con una perturbación baja llevan a una baja diversidad por exclusión competitiva (Wilkinson, 1999). También se puede deber a que en áreas con una vegetación más heterogénea y densa como en los bosques se dificulta la detección de las aves (Salas-Correa, y Mancera-Rodríguez, 2018).

Habia gutturalis una especie de ave insectívora catalogada según la lista de especies rojas IUCN en la categoría casi amenazada (NT) estuvo presente en Santa María y Máquina Resumidero en los tres tipos de cobertura; según un estudio de Betancur y colaboradores (2020) sobre la ocupación de esta especie en una zona de amortiguamiento entre dos hidroeléctricas de la Cordillera Central de los Andes colombianos, la cobertura no era una covariable importante para esta especie, haciendo uso de bosque secundario y áreas perturbadas. Por lo tanto, esta especie se puede beneficiar de cierto grado de perturbación (Willis, 1972), por ende, su presencia en las diferentes coberturas.

5.2 Diversidad funcional

Santa María y Máquina Resumidero presentan una alta riqueza funcional (Fric), este valor está positivamente relacionado con la riqueza de especies (Villéger et al., 2008; Cannon et al., 2019) ya que la riqueza de especies es similar en ambos sitios. Entre mayor sea el valor de riqueza funcional, la comunidad presenta un mayor rango de rasgos funcionales lo que le permite un mejor aprovechamiento de los recursos, ya sea porque las especies están usando diferentes recursos o los mismos recursos, pero en tiempos distintos (Hooper et al., 2005). Por lo tanto, hay una oferta alta de frutos e insectos para las especies de aves registradas en un paisaje intervenido y heterogéneo que se encuentra adyacente a una zona a cultivos que pueden ser fuentes de alimentos para las aves allí registradas. Los valores bajos de dispersión funcional FDis y

especialización funcional FSpe indican una menor representación de especies con rasgos funcionales únicos (Cannon et al., 2019) y una menor presencia de especies funcionalmente especialistas (Villéger et al., 2010; Córdova-Tapia y Zambrano, 2015). Que la comunidad de aves presente especies con rasgos funcionales similares indica que hay un grado de intervención antropogénica como se observa en la vegetación secundaria y en la de transición de potrero bosque en Santa María lo que a largo plazo puede llevar a una pérdida de servicios ecosistémicos; esto coincide con un estudio realizado por Castillo y Díaz (2019) en Ibagué en seis paisajes diferentes donde se observa un patrón de menor dispersión funcional en los hábitats más intervenidos. Esto también conlleva a que la comunidad de aves allí presentes sea menos especializada (Sekercioglu, 2012), baje el número de especies especialistas y aumente el número de especies generalistas como se observó en las coberturas de vegetación secundaria y transición potrero bosque con mayor abundancia para las especies como *Campylorhynchus griseus* y *Tyrannus melancholicus*.

Para las coberturas se observa una mayor riqueza funcional Fric entre las coberturas de vegetación secundaria y transición potrero bosque para Santa María, con una baja especialización funcional FSpe en la cobertura de vegetación secundaria y una mayor especialización funcional en el bosque. En Máquina Resumidero la mayor riqueza y dispersión funcionales estuvieron presentes en la cobertura de vegetación secundaria, la cobertura de transición potrero bosque presentó valores muy bajos de riqueza funcional con una riqueza de especies alta, otro estudio encontró que esto puede ocurrir cuando hay varias especies que tienen el mismo rol funcional, de manera que son funcionalmente redundantes. Esto puede ser beneficioso a largo plazo para el ecosistema porque la pérdida de especies con una importancia funcional no equivale a una degradación del ecosistema ya que habrá un remplazo de especies

con el mismo rol funcional (Cannon et al., 2019). En contraste con Santa María, la especialización funcional fue mayor en la vegetación secundaria y más baja en la cobertura de transición potrero bosque. Esto se puede deber a que Máquina Resumidero es un paisaje más conservado con parches de bosque más grandes que se encuentran colindando con la Serranía de la Paz y hay menor intervención antrópica como lo son las vías principales y áreas destinadas a la ganadería y a la agricultura cómo si ocurre en Santa María.

5.3 Características del paisaje, diversidad taxonómica y diversidad funcional

El análisis de correspondencia canónica (CCA) indica que de las 3 variables de vegetación evaluada solo el número de árboles es significativo en la composición de aves entre las coberturas muestreadas para Máquina Resumidero y Santa María. Pero el modelo en general usado para el CCA tampoco fue significativo. Sugiriendo así que el ensamblaje de la comunidad de aves se ve afectada por otras variables ambientales no evaluadas acá. La variable significativa, el número de árboles, estaba asociada con algunas especies de bosque cómo *Dendroplex picus*, *Ramphastos ambiguus*, *Tityra semifasciata*, *Mionectes oleagineus* y *Xenops minutus*. Este resultado concuerda con el presentado por Salas-Correa y Mancera-Rodríguez (2018), en el que las variables que mostraron una relación significativa en la composición de aves fueron Número de árboles por hectárea y altura máxima. Se observó una alta riqueza de especies en la cobertura de transición potrero bosque, esto coincide con los resultados presentados por Cárdenas et al. (2003) en los que los potreros de alta cobertura presentaron mayor número de individuos que los bosques riparios y potreros de baja cobertura debido a que los árboles que allí se encuentran son una fuente de recursos, refugio y alimentos de estos hábitats.

También en la Amazonia brasilera Oliveira y colaboradores (2019) encontraron que no hubo una relación entre la estructura de la vegetación y las medidas de diversidad como la cobertura, pero si observaron que la diversidad taxonómica y funcional estaba relacionada con el rango altitudinal, que a su vez genera una influencia en otras variables ambientales como la presencia de cuerpos de agua y la profundidad de la hojarasca.

Aunque en este estudio las variables de vegetación analizadas no influyeran en la riqueza de especies, existen más factores que pueden determinar esa riqueza de las especies de aves como el área forestal, diversidad florística, composición de la vegetación y estructura de la vegetación a escala regional (Gillespie y Walter, 2001). Las parcelas analizadas no son lo suficientemente diferentes como para generar grandes cambios en la riqueza de especies y por ende en sus rasgos funcionales, lo que también puede estar explicado por la coexistencia de especies que son funcionalmente similares, y por ende hay una mayor estabilidad ante ciertos cambios ambientales (Oliveira et al., 2019). Aunque en la zona se hayan generado cambios en el paisaje por actividad antropogénica por la construcción de vías y la producción agrícola y ganadera, el grado de estas perturbaciones aun no es lo suficientemente fuerte para generar una pérdida de los rasgos funcionales, ya que se logra mantener una comunidad de aves diversa que está aportando a la riqueza funcional; sin embargo, entre mayores sean estas perturbaciones y menor conectividad haya entre estos fragmentos se puede generar una pérdida de rasgos funcionales únicos asociados a especies especialistas. Por otra parte, entre mayor capacidad de dispersión y movilidad tengan las especies, mejor capacidad de adaptarse a cambios en el uso de la tierra (Sekercioglu et al., 2007).

6. Conclusiones

La comunidad de aves fue similar en Santa María y Máquina Resumidero, siendo el primero quien presentó mayor diversidad de aves insectívoras y el segundo mayor diversidad de aves frugívoras. Las diferencias en la riqueza y diversidad de especies se presentaron a nivel de cobertura en cada paisaje. La cobertura de vegetación secundaria fue la que presentó mayor riqueza y diversidad; así mismo, hubo una mayor riqueza funcional asociada a esta cobertura de vegetación secundaria y a la cobertura de transición potrero. La baja especialización funcional en las coberturas se debe a una menor presencia de especies funcionalmente especialistas, observándose una redundancia funcional a pequeña escala que puede ser importante para la resiliencia de la comunidad de aves ante procesos de perturbación antropogénica. Finalmente, no hubo asociación entre las variables de vegetación y la composición de las especies frugívoras e insectívoras en los sitios muestreados. Esto también indica un grado de resiliencia por parte de las aves a cierto grado de perturbación y en un paisaje que constantemente está cambiando por procesos antropogénicos como lo son la agricultura y la ganadería a pequeña escala como se observa en Santa María y Máquina Resumidero pueden ayudar a conservar estos gremios y se mantengan los servicios ecosistémicos que ofrecen las aves. Se necesitan más datos y estudios a largo plazo para entender cómo pueden ir cambiando las dinámicas de estas comunidades de aves a medida que va aumentando el grado de perturbación.

7. Recomendaciones

Para próximos estudios se recomienda aumentar el tiempo de muestreo para lograr un registro más completo de las especies presentes en el sitio de muestreo. Se recomienda tomar

más factores ambientales para entender mejor como influyen en la diversidad taxonómica y funcional de aves.

Referencias Bibliográficas

- Asociación Colombiana de Ornitología (2020). Lista de referencia de especies de aves de Colombia - 2020. v2. Asociación Colombiana de Ornitología. Dataset/Checklist. <http://doi.org/10.15472/qhsz0p>
- Ayerbe, F. (2019). *Guía ilustrada de avifauna colombiana*. (2ª ed). Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Badii, M. H., y Castillo, J. (2017). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(8). <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-9>
- Baselga, A. (2009). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), 134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Baselga, A. (2012). The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. *Global Ecology and Biogeography*, 21(12), 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00756.x>
- Baselga, A., Orme, D., Vileger, S., De Bortoli, J., Leprieur, F. y Logez, M. (2022). Betapart: Partitioning Beta Diversity into Turnover and Nestedness Components. R package version 1.5.6, <https://CRAN.R-project.org/package=betapart>
- Betancur, J. S., Morales Rozo, A., y Parra, J. L. (2020). Occupancy of the Sooty Ant-Tanager (*Habia gutturalis*) and White-Mantled Barbet (*Capito hypoleucus*) in fragmented forests of the Central Andes in Colombia. *Ornitología Colombiana*, (18), 1-24.
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hillis, D. M., Hill, D. A., y Mustoe, S. (2000). *Bird census techniques*. (2a ed). Elsevier.
- Calderón-Patrón, J.M. y Moreno, C. E. (2019). Diversidad beta basada en índices de disimilitud: Su partición en componentes de recambio y diferencias en riqueza. En: Moreno, C.E. (Ed) *La*

biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio (pp. 203-222). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex.

Castillo, J. F. y Díaz, M. (2019). Diversidad funcional del ensamblaje de aves y su relación con variables del paisaje de seis reservas naturales en Ibagué-Tolima [Tesis de pregrado]. Universidad de Ibagué, Ibagué. Repositorio Universidad de Ibagué.

<https://hdl.handle.net/20.500.12313/1977>

Cárdenas, G., Harvey, C. A., Ibrahim, M., y Finegan, B. (2003). Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40).

Cannon, P. G., Gilroy, J. J., Tobias, J. A., Anderson, A., Haugaasen, T., y Edwards, D. P. (2019). Land-sparing agriculture sustains higher levels of avian functional diversity than land sharing. *Global Change Biology*, 25(5), 1576-1590. <https://doi.org/10.1111/gcb.14601>

Chao, A., y Lee, S.-M. (1992). Estimating the Number of Classes via Sample Coverage. *Journal of the American Statistical Association*, 87(417), 210–217. <https://doi.org/10.2307/2290471>

Chao, A., y Jost, L. (2012), Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>

Chave, J. (2004). Neutral theory and community ecology. *Ecology Letters*, 7(3), 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2003.00566.x>

Córdova-Tapia, F. y Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas*, 24(3). 78-87. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-3.10>

Díaz, S., y Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 16(11), 646–655.

[https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)

- Gill, F. (2007). *Ornithology*. (3ª Ed.). W. H. Freeman and Company.
- Gillespie, T. W., y Walter, H. (2001). Distribution of bird species richness at a regional scale in tropical dry forest of Central America. *Journal of Biogeography*, 28(5), 651–662.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00575.x>
- Gotelli, N. J. (2008). *A primer of ecology* (Vol. 494). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Grupo de estudios en Biodiversidad GEBIO. (2017). Monitoreo de la Fauna terrestre existente en la franja de protección del embalse de la Central Hidroeléctrica Sogamoso y áreas de reserva protectora. Informe final. ISAGEN, pp. 69-126.
- Hsieh T. C., Ma K. H. y Chao A. (2022). iNEXT: Interpolation and Extrapolation for Species Diversity. R package version 3.0.0, http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/.
- Hooper, D.U., Chapin, F.S., III, Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J. and Wardle, D.A. (2005), Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- IDEAM. (2014). Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP). <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21141/Regionalizacion+de+la+Precipitacion+Media+Mensual/1239c8b3-299d-4099-bf52-55a414557119>
- Jarzyna, M. A., Quintero, I., y Jetz, W. (2020). Global functional and phylogenetic structure of avian assemblages across elevation and latitude. *Ecology Letters*, 24(2), 196-207.
<https://doi.org/10.1111/ele.13631>
- Jost, L. (2006). Entropy and Diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <http://www.jstor.org/stable/40234813>

- Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, P. y Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas. *Scientific Data*, 4(1), 1-20. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Labiberté, E., y Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 91(1), 299–305. <https://doi.org/10.1890/08-2244.1>
- López-Ordoñez, J. P., Stiles, F. G., y Parra-Vergara, J. L. (2016). Protocolo para medición de rasgos funcionales en aves. En N. B Salgado (Ed.), *La Ecología Funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. (1ª Ed., pp. 81-85). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Luck, G. W., Lavorel, S., McIntyre, S., y Lumb, K. (2012). Improving the application of vertebrate trait-based frameworks to the study of ecosystem services. *Journal of Animal Ecology*, 81(5), 1065-1076. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2012.01974.x>
- Magneville, C., Loiseau, N., Albouy, C., Casajus, N., Claverie, T., Escalas, A., Leprieur, F., Maire, E., Mouillot, D. y Villéger, S., (2022). mFD: an R package to compute and illustrate the multiple facets of functional diversity. *Ecography* 2022. <https://doi.org/10.1111/ecog.05904>
- Montoya, P., Gonzalez, M. A., Tenorio, E. A., López-Ordóñez, J. P., Pinto Gómez, A., Cueva, D., ... Salgado-Negret, B. (2018). A morphological database for 606 Colombian bird species. *Ecology*, 99(7), 1693–1693. <https://doi.org/10.1002/ecy.2368>
- Morante-Filho, J. C., Faria, D., Maríano-Neto, E., y Rhodes, J. (2015). Birds in Anthropogenic Landscapes: The Responses of Ecological Groups to Forest Loss in the Brazilian Atlantic Forest. *Plos one*, 10(6), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128923>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. (1ª Ed., vol. 1). MyT–Manuales y Tesis SEA.

- Moreno, C. E., y Rodríguez, P. (2011). Commentary: Do we have a consistent terminology for species diversity? Back to basics and toward a unifying framework. *Oecologia*, 167(4), 889–892.
- Newmark, W. D. (2006). A 16-year study of forest disturbance and understory bird community structure and composition in Tanzania. *Conservation Biology*, 20(1), 122-134. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00273.x>
- Oksanen, J., Simpson, G., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'Hara, R., Solymos, P., Stevens, M., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., Durand, S., Evangelista, H., Fitz John, R., Friendly, M., Furneaux, B., Hannigan, G., Hill, M., Lahti, L., McGlinn, D., Ouellette, M., Ribeiro Cunha, E., Smith, T., Stier, A., Ter Braak, C. y Weedon, J. (2022). Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.6-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oklahoma State University. (2015). *Canopeo* (1.1.7) [Aplicación móvil]. Google Play. Canopeo - Aplicaciones en Google Play.
- Oliveira, J. De, Almeida, S. M., Florêncio, F. P., Pinho, J. B., Oliveira, D. M. M., Ligeiro, R., y Rodrigues, D. J. (2019). Environmental structure affects taxonomic diversity but not functional structure of understory birds in the southwestern Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 49(3), 232–241. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201803941>
- Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J., ... Wegmann, M. (2013). Essential biodiversity variables. *Science*, 339(6117), 277–278. <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
- Rincón-Parra, V. J., Echeverry-Galvis, M. A., y Álvarez, S. J. (2022). Functional responses of bird assemblages to land-use change in the Colombian Orinoquia region. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.689745>

- Raman, T. S. (2001). Effect of slash-and-burn shifting cultivation on rainforest birds in Mizoram, northeast India. *Conservation Biology*, 15(3), 685-698. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015003685.x>
- Renjifo, L. M. (2001). Effect of natural and anthropogenic landscape matrices on the abundance of subandean bird species. *Ecological Applications*, 11(1), 14-31. <https://doi.org/10.2307/3061052>
- Root, R. B. (1967). The niche exploitation pattern of the blue-gray gnatcatcher. *Ecological Monographs*, 37(4), 317–350. <https://doi.org/10.2307/1942327>
- Salt, G. W. (1953). An ecologic analysis of three California avifaunas. *The Condor*, 55(5), 258–273. <https://doi.org/10.2307/1365037>
- Salas-Correa, Á. D., y Mancera-Rodríguez, N. J. (2018). Relaciones entre la diversidad de aves y la estructura de vegetación en cuatro etapas sucesionales de bosque secundario, Antioquia, Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 519-529.
- Santos, T., y Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15(2), 3-12. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/180>
- Sarmiento-Garavito LP, García-Monroy JS, Carvajal-Cogollo JE (2022) Taxonomic and functional diversity of birds in a rural landscape of high Andean forest, Colombia. *Neotropical Biology and Conservation*, 17(1): 39-57. <https://doi.org/10.3897/neotropical.17.e66096>
- Sekercioglu, C. H., Loarie, S. R., Oviedo Brenes, F., Ehrlich, P. R., & Daily, G. C. (2007). Persistence of Forest Birds in the Costa Rican Agricultural Countryside. *Conservation Biology*, 21(2), 482–494. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00655.x>

- Sekercioglu, C. H. (2012). Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal of Ornithology*, 153(S1), 153–161. <https://doi.org/10.1007/s10336-012-0869-4>
- Simberloff, D. (1995). Habitat fragmentation and population extinction of birds. *Ibis*, 137(1), S105-S111. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1995.tb08430.x>
- Stouffer, P. C., y Bierregaard, R. O. (1995). Use of Amazonian Forest Fragments by Understory Insectivorous Birds. *Ecology*, 76(8), 2429–2445. <https://doi.org/10.2307/2265818>
- Stratford, J. A., y Stouffer, P. C. (1999). Local extinctions of terrestrial insectivorous birds in a fragmented landscape near Manaus, Brazil. *Conservation Biology*, 13(6), 1416-1423. <https://www.jstor.org/stable/2641965>
- Ter Braak, C. J. F. (1986). Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology*, 67(5), 1167–1179. <https://doi.org/10.2307/1938672>
- Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M., y Siemann, E. (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277(5330), 1300-1302.
- Trzcinski, M., Fahrig, L. y Merriam, G. (1999). Independent effects of forest cover and fragmentation on the distribution of forest breeding birds. *Ecological Applications*, 9(2). 586-593. <https://doi.org/10.2307/2641146>
- Tobias, J. A., Sheard, C., Pigot, A. L., Devenish, A. J., Yang, J., Sayol, F., ... y Schleuning, M. (2022). AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. *Ecology Letters*, 25(3), 581-597. <https://doi.org/10.1111/ele.13898>
- Vallejo-Joyas, M. I., Londoño Vega, A.C., López Camacho, R., Galeano, G., Álvarez Dávila, E. y Devia Álvarez, W. (2005). Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia.

(1ª Ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 310 p. (Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo; No. 1).

Villéger, S., Miranda, J. R., Hernández, D. F., y Mouillot, D. (2010). Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecological Applications*, 20(6), 1512–1522. <https://doi.org/10.1890/09-1310.1>

Villéger, S., Mason, N.W.H., Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8), 2290-2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>

Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., y Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional. *Oikos*, 116(5), 882-892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>

Weiss, S. A., Calmé, S. y Kampichler, C. (2008). Bird communities in rainforest fragments: Guild responses to habitat variables in Tabasco, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17(1), 173-190. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9238-7>

Willis, E. O. (1972). Taxonomy, ecology, and behavior of the sooty ant-tanager (*Habia gutturalis*) and other ant-tanagers (Aves). *American Museum Novitates*, 2480, 1-38.

Wilman, H., Belmaker, J., Simpson, J., de la Rosa, C., Rivadeneira, M. M., y Jetz, W. (2014). EltonTraits 1.0: Species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. *Ecology*, 95(7), 2027–2027. <https://doi.org/10.1890/13-1917.1>

Wilkinson, D. M. (1999). The Disturbing History of Intermediate Disturbance. *Oikos*, 84(1), 145. <https://doi.org/10.2307/3546874>

Apéndices

Apéndice A

Abundancia de las especies de aves frugívoras e insectívoras registradas en las tres coberturas vegetales muestreadas en Santa María y Máquina Resumidero.

Santa María						
Orden	Familia	Especie	Cobertura			Gremio
			TPB	VS	Bosque	
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Bubulcus ibis</i>	6	0	0	INS
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Nyctidromus albicollis</i>	0	5	0	INS
Galliformes	Cracidae	<i>Ortalis columbiana</i>	0	16	3	FRU
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Coccyzus americanus</i>	0	1	0	INS
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	2	1	0	INS
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Tapera naevia</i>	1	0	0	INS
Piciformes	Galbulidae	<i>Galbula ruficauda</i>	0	1	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Colaptes punctigula</i>	3	0	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Dryocopus lineatus</i>	1	1	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes pulcher</i>	2	0	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	6	3	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Picumnus olivaceus</i>	0	1	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Veniliornis kirkii</i>	0	0	1	INS
Piciformes	Ramphastidae	<i>Pteroglossus torquatus</i>	0	3	1	FRU
Piciformes	Ramphastidae	<i>Ramphastos ambiguus</i>	0	2	0	FRU
Piciformes	Ramphastidae	<i>Ramphastos vitellinus</i>	1	1	2	FRU

Passeriformes	Cardinalidae	<i>Habia gutturalis</i>	1	5	4	INS
Passeriformes	Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Corvidae	<i>Cyanocorax affinis</i>	7	3	2	FRU
Passeriformes	Formicariidae	<i>Formicarius analis</i>	0	0	2	INS
Passeriformes	Fringillidae	<i>Euphonia lanirostris</i>	0	5	2	FRU
Passeriformes	Furnariidae	<i>Dendroplex picus</i>	1	2	0	INS
Passeriformes	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	0	0	1	INS
Passeriformes	Furnariidae	<i>Lepidocolaptes souleyetii</i>	3	0	0	INS
Passeriformes	Furnariidae	<i>Xenops minutus</i>	0	1	2	INS
Passeriformes	Icteridae	<i>Icterus chrysater</i>	0	2	0	INS
Passeriformes	Icteridae	<i>Molothrus bonariensis</i>	4	0	0	INS
Passeriformes	Mimidae	<i>Mimus gilvus</i>	0	2	0	INS
Passeriformes	Parulidae	<i>Basileuterus rufifrons</i>	0	8	0	INS
Passeriformes	Parulidae	<i>Myiothlypis fulvicauda</i>	9	0	0	INS
Passeriformes	Parulidae	<i>Parkesia noveboracensis</i>	0	1	0	INS
Passeriformes	Pipridae	<i>Manacus manacus</i>	1	0	5	FRU
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Cercomacra nigricans</i>	0	14	0	INS
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Microrhophias quixensis</i>	0	0	4	INS
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Myrmotherula axillaris</i>	0	0	1	INS
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Sakesphorus canadensis</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Thamnophilus doliatus</i>	0	2	0	INS
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Thamnophilus multistriatus</i>	0	2	0	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Chlorophanes spiza</i>	3	1	2	FRU
Passeriformes	Thraupidae	<i>Eucometis penicillata</i>	0	1	0	INS

Passeriformes	Thraupidae	<i>Hemithraupis flavicollis</i>	2	2	1	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Loriotus luctuosus</i>	4	1	0	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Saltator coerulescens</i>	0	4	0	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Saltator maximus</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Saltator striatipectus</i>	1	6	0	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Stilpnia cyanicollis</i>	6	3	0	FRU
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara inornata</i>	0	1	0	FRU
Passeriformes	Thraupidae	<i>Thraupis palmarum</i>	4	0	0	FRU
Passeriformes	Tityridae	<i>Pachyramphus</i> <i>cinnamomeus</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Tityridae	<i>Pachyramphus rufus</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Campylorhynchus griseus</i>	20	6	6	INS
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus leucomelas</i>	2	0	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Colonia colonus</i>	2	2	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Leptopogon</i> <i>amaurocephalus</i>	0	1	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Mionectes oleagineus</i>	1	2	0	FRU
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiozetetes cayanensis</i>	4	7	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Onychorhynchus coronatus</i>	0	1	1	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	3	0	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Sayornis nigricans</i>	0	0	1	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Todirostrum cinereum</i>	1	1	1	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>	8	14	0	INS

Passeriformes	Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	3	2	0	INS
---------------	------------	-----------------------------	---	---	---	-----

Máquina Resumidero

Orden	Familia	Especie	Cobertura			Gremio
			TPB	VS	Bosque	
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Nyctidromus albicollis</i>	0	0	1	INS
Galliformes	Cracidae	<i>Ortalis columbiana</i>	0	3	6	FRU
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	1	1	1	INS
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Bubulcus ibis</i>	0	2	0	INS
Piciformes	Galbulidae	<i>Galbula ruficauda</i>	0	1	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Colaptes punctigula</i>	0	2	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Dryocopus lineatus</i>	0	0	3	INS
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	1	2	0	INS
Piciformes	Picidae	<i>Picumnus olivaceus</i>	0	0	2	INS
Piciformes	Picidae	<i>veniliornis kirkii</i>	1	0	0	INS
Piciformes	Ramphastidae	<i>Pteroglossus torquatus</i>	0	3	0	FRU
Piciformes	Ramphastidae	<i>Ramphastos ambiguus</i>	1	0	2	FRU
Passeriformes	Cardinalidae	<i>Habia gutturalis</i>	7	0	0	INS
Passeriformes	Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>	0	4	0	INS
Passeriformes	Formicariidae	<i>Formicarius analis</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Fringillidae	<i>Euphonia lanirostris</i>	1	0	0	FRU
Passeriformes	Fringillidae	<i>Euphonia xanthogaster</i>	0	1	0	FRU
Passeriformes	Furnariidae	<i>Campylorhamphus</i>	0	0	1	INS
		<i>trochilirostris</i>				
Passeriformes	Furnariidae	<i>Dendrocincla fuliginosa</i>	2	1	3	INS

Passeriformes	Furnariidae	<i>Dendroplex picus</i>	0	3	1	INS
Passeriformes	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Furnariidae	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	0	1	0	INS
Passeriformes	Furnariidae	<i>Lepidocolaptes souleyetii</i>	0	1	0	INS
Passeriformes	Furnariidae	<i>Xenops minutus</i>	2	0	0	INS
Passeriformes	Furnariidae	<i>Xiphorhynchus susurrans</i>	0	0	2	INS
Passeriformes	Icteridae	<i>Icterus chrysater</i>	0	1	0	INS
Passeriformes	Mimidae	<i>Mimus gilvus</i>	6	5	2	INS
Passeriformes	Parulidae	<i>Basileuterus rufifrons</i>	1	1	0	INS
Passeriformes	Parulidae	<i>Setophaga castanea</i>	0	2	1	INS
Passeriformes	Pipridae	<i>Ceratopipra</i>	0	0	1	FRU
		<i>erythrocephala</i>				
Passeriformes	Pipridae	<i>Machaeropterus striolatus</i>	2	1	2	FRU
Passeriformes	Pipridae	<i>Manacus manacus</i>	1	4	2	FRU
Passeriformes	Poliotilidae	<i>Ramphocaenus melanurus</i>	0	1	0	INS
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Cercomacra nigricans</i>	2	0	0	INS
Passeriformes	Thamnophilidae	<i>Thamnophilus nigriceps</i>	1	0	1	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Chlorophanes spiza</i>	0	2	0	FRU
Passeriformes	Thraupidae	<i>Dacnis lineata</i>	2	4	0	FRU
Passeriformes	Thraupidae	<i>Eucometis penicillata</i>	1	0	3	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Hemithraupis flavicollis</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Loriotus luctuosus</i>	1	0	1	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Saltator coerulescens</i>	2	2	0	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Saltator maximus</i>	1	0	1	INS

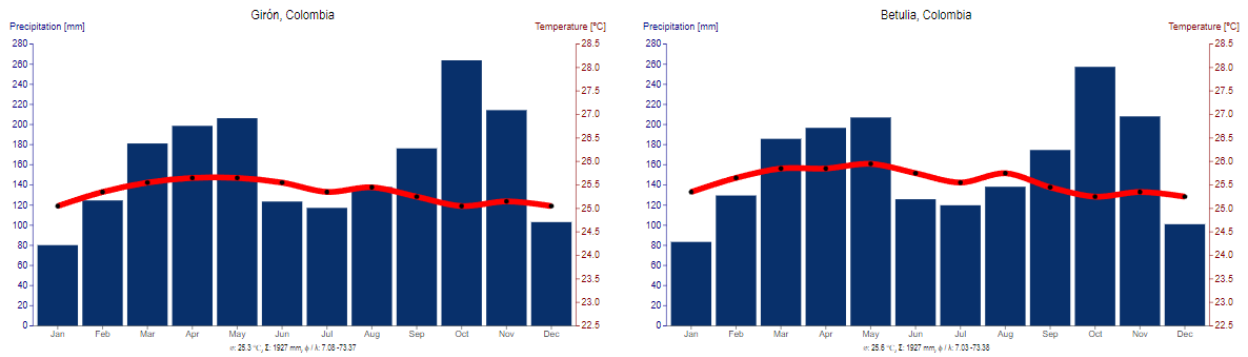
Passeriformes	Thraupidae	<i>Saltator striatipectus</i>	0	0	1	INS
Passeriformes	Thraupidae	<i>Stilpnia cyanicollis</i>	2	6	0	FRU
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara gyrola</i>	0	1	0	FRU
Passeriformes	Thraupidae	<i>Thraupis palmarum</i>	2	3	0	FRU
Passeriformes	Tityridae	<i>Pachyramphus</i> <i>cinnamomeus</i>	3	0	0	INS
Passeriformes	Tityridae	<i>Tityra semifasciata</i>	1	0	0	FRU
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Campylorhynchus griseus</i>	2	0	5	INS
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Campylorhynchus zonatus</i>	0	7	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Colonia colonus</i>	0	3	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Empidonax virescens</i>	0	0	1	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Leptopogon</i> <i>amaurocephalus</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Mionectes oleagineus</i>	1	3	0	FRU
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiozetetes cayanensis</i>	2	1	1	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Onychorhynchus coronatus</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	1	0	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Sayornis nigricans</i>	0	4	0	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Todirostrum cinereum</i>	0	4	2	INS
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>	10	13	4	INS
Passeriformes	Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	0	3	0	INS
Passeriformes	Vireonidae	<i>Hylophilus flavipes</i>	0	2	0	INS

Nota: Las abreviaciones en la columna de cobertura corresponden a transición potrero bosque (TPB) y vegetación

secundaria (VS) y en la columna de gremio INS corresponde a las aves insectívoras y FRU a las aves frugívoras.

Apéndice B

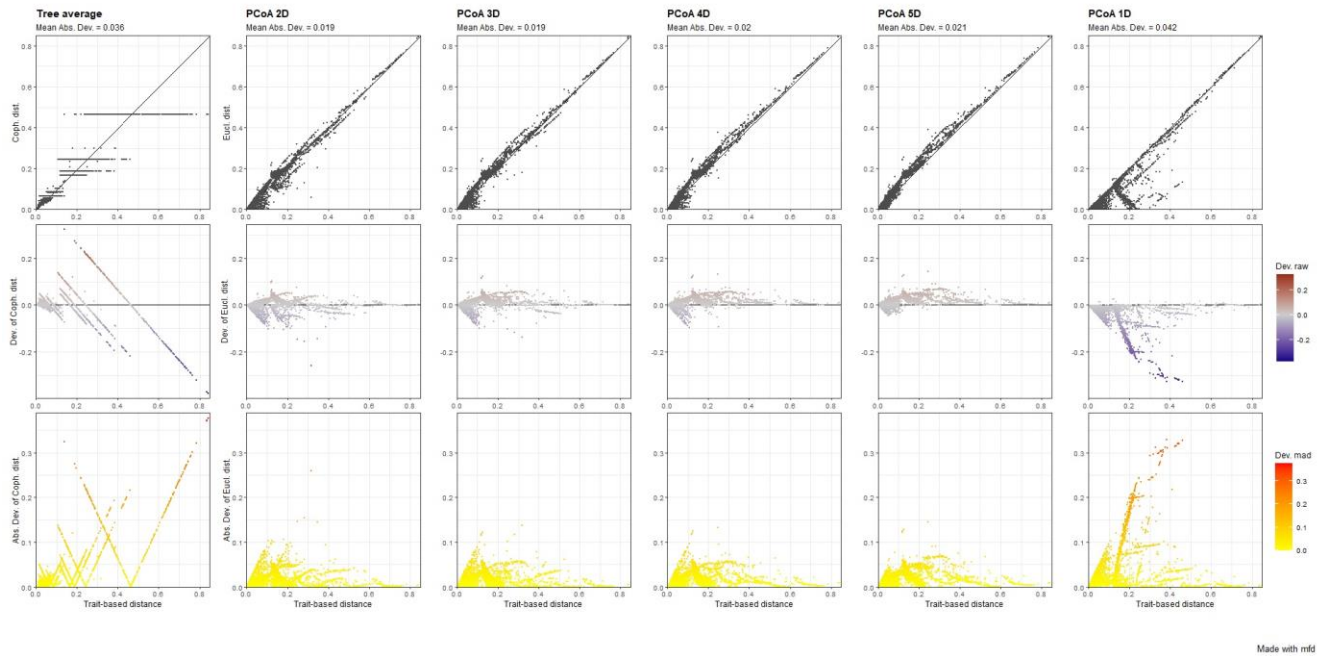
Climograma de precipitación y temperatura mensual para cada sitio muestreado.



Nota: El gráfico de la izquierda corresponde al municipio de Girón donde se encuentra el sitio de muestreo de Santa María y el gráfico derecho corresponde al municipio de Betulia donde se encuentra el sitio de muestreo Máquina Resumidero.

Apéndice C

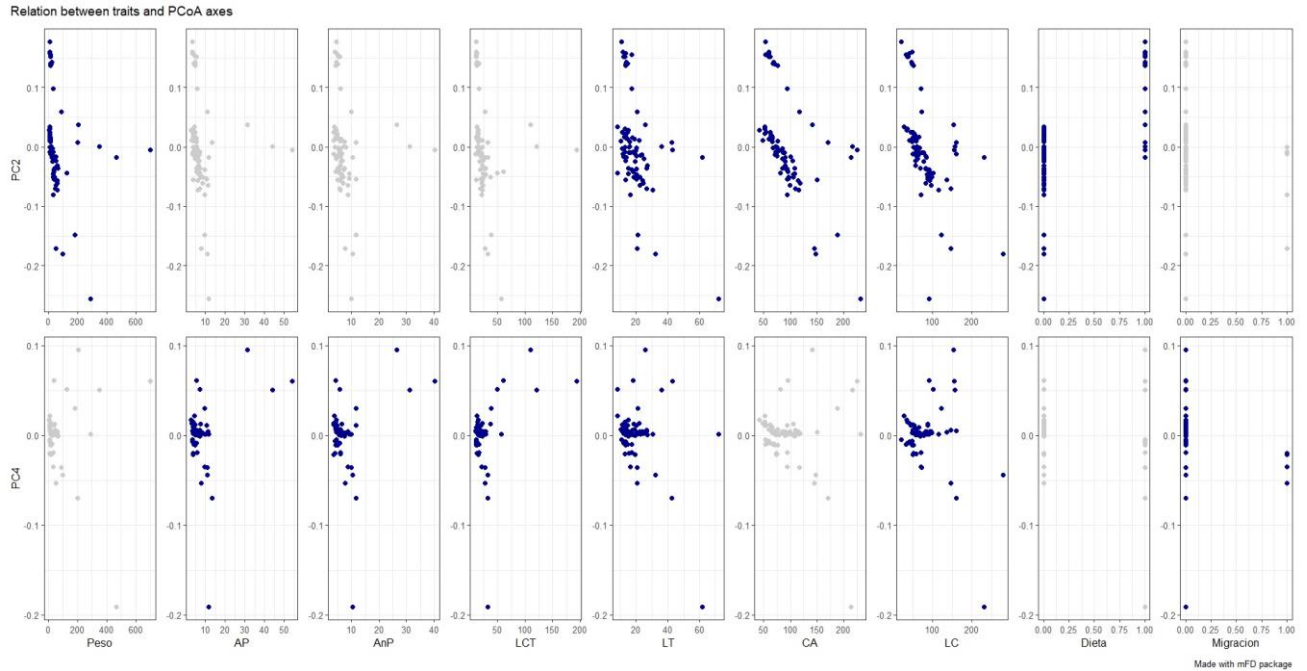
Ilustración de la calidad de los espacios funcionales.



Nota: Cada columna representa un espacio funcional y el eje x de todos los paneles representa distancias basadas en rasgos. El eje y es diferente para cada fila: en la primera fila, representa las distancias funcionales de las especies en el espacio multidimensional; en la segunda fila, muestra la desviación bruta de las distancias entre especies en el espacio funcional en comparación con las distancias basadas en rasgos; y en la tercera fila, muestra la desviación absoluta o al cuadrado de la distancia en el espacio funcional (Magneville, 2022).

Apéndice D

Relación entre los rasgos y los ejes de los PCoA seleccionados



Nota: En este gráfico se observa cuáles son los rasgos que están influyendo en cada uno de los ejes. Para el PC2 los rasgos que están influyendo son el peso, la longitud del tarso (LT), la cuerda del ala cerrada (CA), la longitud de la cola (LC) y la dieta. Para el PC4 los rasgos que están influyendo son la altura del pico (AP), el ancho de l pico (AnP), la longitud total del culmen (LCT), la longitud del tarso (LT), la longitud de la cola (LC) y finalmente la migración.