BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

MAESTRIA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INFLUENCIA DE LA HETEROGENEIDAD AMBIENTAL DE UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA SOBRE LA DIVERSIDAD TAXONÓMICA, FUNCIONAL Y FILOGENÉTICA DE SUS COMUNIDADES DE AVES

Tesis para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Presenta:

CARLOS AUGUSTO CAMACHO BECERRA

Director**:**
JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ OREJA

Codirectora**:**
MARÍA CONCEPCIÓN LÓPEZ TÉLLEZ

Asesores:
JUAN HÉCTOR GARCÍA CHÁVEZ
JOSÉ LUIS ALCÁNTARA CARBAJAL

ENERO 2025

H. Puebla de Z. a 12 de enero de 2025

Asunto: Voto Aprobatorio

Comité Académico del Posgrado
PRESENTE

Por medio de la presente se hace constar que se revisó y aprobó la tesis titulada:

"Influencia de la heterogeneidad ambiental de una selva baja caducifolia sobre la diversidad taxonómica, funcional y filogenética de sus comunidades de aves"

Que presenta el estudiante **Carlos Augusto Camacho Becerra** con número de matrícula **222470467**, aspirante al grado de **Maestro en Ciencias Biológicas,** de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: "**Ecología y aprovechamiento de recursos bióticos**", notificamos que la tesis reúne los requisitos y se aprueba para su réplica oral en el examen de grado.

Por lo tanto, emitimos los **VOTOS APROBATORIOS** como miembros del **Comité de Jurado de Examen de Grado** como a continuación se indica:

Tutor Interno: **Dr. Juan Héctor García Chávez**

Tutor Externo: **Dr. José Luis Alcántara Carbajal**

Revisor: **Dr. Daniel Jiménez García**

Agradecemos de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA · 1578 · FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS · DIRECCIÓN
RECIBIDO
22 ENE 2025

DECLARATORIA DE TRABAJO ORIGINAL

Nombre del autor: Carlos Augusto Camacho Becerra

Número de matrícula: 222470467

Programa: Maestría en Ciencias Biológicas – BUAP

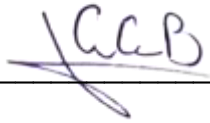
Título de la tesis: Influencia de la heterogeneidad ambiental de una selva baja caducifolia sobre la diversidad taxonómica, funcional y filogenética de sus comunidades de aves

Fecha: 11 de diciembre del 2024

Por este medio **DECLARO QUE**: El documento presentado como tesis para la obtención del grado de Maestro en Ciencias Biológicas es una obra original que ha sido desarrollada íntegramente, que no se han utilizado ideas, formulaciones, citas, ilustraciones diversas u otra información de fuentes en medios escritos o electrónicos sin mencionar de forma clara y precisa su origen o autor(es).

El documento no infringe los derechos de propiedad intelectual ni otros de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente.

Este trabajo no es plagio y no ha sido utilizado para otro trámite de graduación. Asumo frente a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y ante las instancias correspondientes cualquier responsabilidad que pueda derivarse de la falta de originalidad del contenido del trabajo que aquí se presenta.



Biól. Carlos Augusto Camacho Becerra

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a CONAHCYT por el apoyo económico brindado durante la totalidad de mis estudios de maestría mediante el número de beca 1238490.

Agradezco a la VIEP y a la Facultad de Ciencias Biológicas de la BUAP y a la Maestría en Ciencias Biológicas incluida en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC 005671) por su apoyo para recibir una formación de alta calidad y brindar las facilidades para la realización de este proyecto.

Agradezco a las autoridades y pobladores del Ejido Rancho El Salado por su recibimiento y por las facilidades otorgadas para la elaboración de este proyecto. Especialmente agradezco a Don Toño, Doña Mary y Chico, quienes fueron parte importante al ser nuestros guías y apoyarnos durante nuestra estancia.

Agradezco al Dr. José Antonio Gonzáles Oreja y a la Dra. Ma. Concepción López Téllez, mis directores de tesis, por la confianza depositada en mí para continuar mi formación de posgrado en la Facultad de Ciencias Biológicas.

Agradezco a los miembros del comité, el Dr. Juan Héctor García Chávez, el Dr. José Luis Alcántara Carbajal y el Dr. Daniel Jiménez García por su disposición a formar parte del jurado de mi examen de grado y el tiempo invertido en la revisión de este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis familiares y amigos, sin su apoyo incondicional y motivación este trabajo no hubiera sido posible. ¡Muchas gracias!

ÍNDICE

RESUMEN....1
ABSTRACT....2
I. INTRODUCCIÓN....3
II. ANTECEDENTES....5
III. JUSTIFICACIÓN....9
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN....9
V. HIPÓTESIS....9
VI. OBJETIVOS....10
VII. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN....10
IX. RESULTADOS....20
VIII.I TEMPORADA DE SECAS....27
VIII.II TEMPORADA DE LLUVIAS....34
IX . DISCUSIÓN....40
X. CONCLUSIONES....48
XII. LITERATURA CITADA....50
XIII. ANEXOS....59

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del municipio de Jolalpan. 11

Figura 2. Polígono de la UMA del Ejido Rancho El Salado 12

Figura 3. Perfil de vegetación del paraje Alseseca.....21

Figura 4. Perfil de vegetación del paraje Cabañas.....23

Figura 5. Perfil de vegetación del paraje Presa 25

Figura 6. Análisis de Componentes Principales. (PCA) de la temporada seca 28

Figura 7. Curvas de rango – incidencia de la temporada seca. 30

Figura 8. Análisis de Redundancia (RDA) de la temporada seca.....33

Figura 9. Análisis de Componentes Principales (PCA) de la temporada de lluvias 34

Figura 10 . Curva de rango-incidencia de la temporada de lluvias.....37

Figura 11. Análisis de Redundancia (RDA) de la temporada de lluvias 39

Figura 12. Cartografía participativa.....47

RESUMEN

Las selvas bajas caducifolias son un tipo de ecosistema que cuenta con una marcada heterogeneidad debido a sus condiciones geográficas particulares y al notable contraste en su estacionalidad. Las aves son un grupo de gran importancia ecológica, ya que están estrechamente relacionadas con procesos cruciales para el mantenimiento de la salud ecosistémica y presentan una alta diversidad en las selvas secas de nuestro país. Con el objetivo de determinar el efecto de la heterogeneidad de una selva seca caducifolia del sureste de Puebla sobre la diversidad taxonómica (DT), funcional (DF) y filogenética (DFg) de la avifauna que la habita durante las temporadas de secas y lluvias, se realizó este estudio. Utilizamos parcelas de radio fijo para la observación de aves (N=54) distribuidas a lo largo de tres parajes con diferentes condiciones de heterogeneidad. Mediante variables relacionadas con la estructura del estrato arbóreo (densidad, DAP, cobertura y altura de los árboles) y variables espaciales (altitud, pendiente y NDVI) se determinó mediante un índice y un Análisis de Componentes Principales (PCA) la heterogeneidad a escala local de los puntos de muestreo. Haciendo uso de los tres órdenes de *q* de los números de Hill y sus generalizaciones (números de Hill-Chao), determinamos la DT, DF y DFg de la avifauna identificada por paraje y la variación de las tres dimensiones de la diversidad por parcela utilizando como variables explicativas las asociadas al estrato arbóreo y las espaciales mediante un Análisis de Redundancia (RDA). A pesar de contar con un mayor número de especies, el paraje menos heterogéneo se caracterizó por tener un menor número de grupos funcionales y linajes divergentes durante la temporada de secas. En contraste, durante la temporada de lluvias, el paraje más heterogéneo tuvo valores mayores en las tres dimensiones de la diversidad. Las variables que mejor explicaron las diferencias entre los parajes fueron para la temporada seca la cobertura de los árboles destacándose la relación positiva y una relación inversa con la altitud y la pendiente. Por otro lado, en la temporada de lluvias el NDVI mantuvo una relación directa con las tres dimensiones de la diversidad, manteniendo la relación inversa con la altitud y la pendiente Concluimos existe un efecto positivo de la heterogeneidad y la DT, DF y DFg a escala local, por lo que este tipo de estudios puede proporcionar más información acerca de la resiliencia de las comunidades de aves y también perspectivas para realizar actividades relacionadas con el manejo y la conservación de la SBC.

Palabras clave: Impacto antrópico, Escala local, Estacionalidad, Enfoque Tridimensional

ABSTRACT

Tropical decidous forest are ecosystems characterized by marked heterogeneity due to their unique geographical conditions and the striking contrast of their seasonal patterns. Birds are a group of great ecological importance, as they are closely tied to critical processes that maintain ecosystem health and exhibit high diversity within these dry forests of Mexico. This study aimed to determine the effect of the heterogeneity of a dry tropical forest in southeastern Puebla on the taxonomic (TD), functional (FD), and phylogenetic diversity (PD) of the avifauna inhabiting it during the dry and rainy seasons. We used fixed-radius plots to observe birds (N=54), distributed across three sites with varying levels of heterogeneity. To assess local-scale heterogeneity in the sampling points, we used an index and a Principal Component Analysis (PCA) based on variables associated with the structure of the tree layer (tree density, DBH, canopy cover, and tree height) and spatial variables (altitude, slope, and NDVI). Using the three orders of *q* from Hill numbers and their generalizations (Hill-Chao numbers), we determined the TD, FD, and PD of the avifauna for each site and analyzed the variation in these three diversity dimensions by plot. Explanatory variables included tree-layer and spatial factors, analyzed through a Redundancy Analysis (RDA). Despite having a higher number of species, the least heterogeneous site was characterized by fewer functional groups and divergent lineages during the dry season. In contrast, during the rainy season, the most heterogeneous site exhibited higher values across all three dimensions of diversity. The variables that best explained differences between sites were tree canopy cover during the dry season, showing a positive relationship, and an inverse relationship with altitude and slope. On the other hand, during the rainy season, NDVI showed a direct relationship with all three dimensions of diversity while maintaining an inverse relationship with altitude and slope. We conclude that local-scale heterogeneity positively influences TD, FD, and PD. These findings suggest that such studies can provide valuable insights into the resilience of bird communities and offer perspectives for activities related to the management and conservation of tropical decidous forests.

Keywords: Anthropic impact, Local scale, Seasonality, Three-Dimensional Approach

I. INTRODUCCIÓN

En pleno Antropoceno, que es una era geológica caracterizada por el impacto del hombre sobre los ecosistemas del planeta, el estudio de los efectos de dichas alteraciones sobre la biodiversidad resulta ser un tópico de extrema relevancia. México es un país que cuenta con una gran diversidad de ecosistemas, uno de los más característicos es la Selva Baja Caducifolia (SBC), ya que nuestro país cuenta con la mayor extensión de este tipo de vegetación en el continente americano (Zamora-Crescencio et al*.,* 2024).

La SBC es un hábitat que se caracteriza por una marcada estacionalidad y una corta temporada de lluvias, cuya vegetación depende de la disponibilidad del agua para su estructuración y fenología (Trejo, 1999). La vegetación dentro de la SBC ha sido descrita como heterogénea, presentando un gran número de especies de crecimiento arbustivo y árboles que rara vez superan los 15 metros de altura (Dirzo et al*.*, 2011; Malhi y Grace, 2000; Pérez et al*.,* 2010).

En las últimas dos décadas, la SBC se ha visto afectada por actividades agropecuarias a tal punto de pasar del 14% a tan solo el 4% de la extensión territorial a nivel nacional (Trejo y Dirzo, 2000; Ortega-Baranda et al*.,* 2020; CONABIO, 2022). La tala desmedida aunada a la transformación del suelo para uso agrícola, además de reducir la cobertura vegetal, también modifican los ciclos biogeoquímicos y la calidad del suelo, afectando a la sucesión ecológica de la SBC (Ortega-Baranda et al., 2020). En la actualidad la SBC se caracteriza por contar con muy poca extensión de vegetación primaria, siendo la vegetación secundaria arbustiva la más frecuente, alternada con pastizales, zonas agrícolas y ganaderas (Challenger, 1998; Escandón-Calderón et al., 2018).

Los cambios en la estructura de la SBC no solamente comprometen a la alta biodiversidad con la que cuenta, sino que también ponen en peligro los servicios ecosistémicos que proporciona, como puede ser la regulación climática y la conservación del suelo. En nuestro país, este tipo de vegetación concentra un gran número de endemismos, destacándose las aves como un grupo de especial

importancia (Escalante et al*.,* 1998). Específicamente, considerando a las comunidades que habitan la SBC, cerca del 24% de la riqueza de nuestro país se encuentra en este tipo de hábitat, siendo el segundo con mayor número de especies solo por detrás de la selva alta perennifolia (Navarro-Singüeza et al*.,* 2014).

Desde hace más de 50 años, diversos estudios se han centrado en conocer la influencia de la heterogeneidad ambiental del hábitat sobre la diversidad de sus comunidades de aves. El establecimiento de la hipótesis de la heterogeneidad del hábitat en 1961 representó un gran avance en los estudios de diversidad avifaunística, que a partir de entonces se han correlacionado con características cuantificables de la estructura del hábitat, su complejidad y heterogeneidad (McArthur y McArthur, 1961; Kohn, 1967; Schoener, 1970; Karr y Roth, 1971).

Debido al contexto actual que implica una rápida pérdida de la biodiversidad, resulta de vital importancia conocer cuáles son las características del hábitat que mejor expliquen la pérdida de diversidad y modificación de la distribución de las aves (Anderle et al*.,* 2023). Históricamente, existe una gran cantidad de estudios de diversidad que toman en cuenta la riqueza y la abundancia de las especies que se distribuyen en un área determinada. Sin embargo, la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés) define a la biodiversidad como la variación en atributos genéticos, fenotípicos, filogenéticos y funcionales, así como cambios en abundancia y distribución en el tiempo y el espacio, dentro y entre especies, comunidades biológicas y ecosistemas (Díaz et al*.,* 2015).

El estudio de la biodiversidad que además de tomar en cuenta la riqueza y abundancia de especies (Diversidad Taxonómica, DT) (Moreno, 2001; Magurran, 2004), incluya la cuantificación de los roles que cumplen las especies de una comunidad en su entorno y cómo el entorno afecta a las especies (Diversidad Funcional, DF) (Tilman*,* 2001; Petchey y Gaston, 2002; Petchey y Gaston, 2006; Villeger et al*.*, 2008; Gómez-Ortíz y Moreno, 2017) y la cuantificación de la historia evolutiva de la comunidad (Diversidad Filogenética, DFg) (Faith, 1992; Chao et al., 2021), establece un enfoque tridimensional. Este enfoque permite estudiar las

comunidades de manera integral y entender cómo los desafíos contemporáneos con respecto a cómo la degradación del ambiente puede modificar cada una de estas dimensiones.

Este trabajo plantea un acercamiento al estudio de la diversidad de aves desde un enfoque tridimensional, tomando en cuenta que la SBC es un ecosistema altamente modificado, cuya heterogeneidad natural e inducida puede explicar patrones de variación en la riqueza, rasgos funcionales y relaciones evolutivas de las aves que la habitan. Un enfoque tridimensional resulta novedoso dentro de los estudios de diversidad de aves en la SBC en nuestro país. La inclusión de variables ambientales relacionadas con la topografía, la estructura de la vegetación, la variación estacional y su influencia sobre la DT, DF y DFg de las comunidades de aves, hace de este estudio un paso necesario para describir los procesos asociados a las características naturales de la SBC y a las modificaciones originadas por las actividades agrícolas que la amenazan.

II. ANTECEDENTES

El interés por conocer la influencia de las características ambientales y la estructura vegetal del hábitat sobre la diversidad faunística se remonta al último tercio del siglo pasado y ha continuado hasta la actualidad incorporando diferentes variables espaciales y asociadas a la vegetación. Desde la diversidad de estratos foliares (MacArthur y MacArthur, 1961; Estades et al*.,* 1999), la estratificación vertical y horizontal de la vegetación (Kohn, 1967; Schoener, 1970; Karr y Roth, 1971), hasta enfoques más modernos como la incorporación de índices espaciales como el NDVI (Morelli et al*.,* 2016; Morelli et al*.,* 2017; Kebrle et al*.,* 2023; Beason et al*.,* 2023), los estudios de biodiversidad con respecto a la variación de las características que definen al hábitat se han mantenido vigentes.

La estructura de la vegetación es uno de los elementos que mejor describen la diversidad de aves en un sitio determinado, ya que se encuentra asociada a la disponibilidad de recursos como sitios de percha, refugio y alimento (Vázquez et al*.,*

2009; Calamari et al., 2018). Sin embargo, es importante tomar en cuenta que existen otros factores que modifican la presencia y uso del hábitat por la avifauna, como el relieve, la estacionalidad y la fragmentación (Karr, 1976; Haddad et al., 2015).

La determinación de la viabilidad de un hábitat para la presencia de determinada especie de ave es un proceso escala-dependiente en el que las características genéticas explican la distribución a escala regional, pero a escala local, el uso de hábitat también se puede ver explicado por mecanismos conductuales (Wecker, 1964; Hutto, 1985; Block y Brennan, 1993).

Debido a sus características conspicuas y su presencia en todos los continentes del mundo, las aves son el grupo de vertebrados mejor estudiado (Şekercioğlu et al., 2016). Sin embargo, el estudio de sus comunidades desde un punto de vista tridimensional comenzó a generar interés a finales del siglo XX con la inclusión de la DFg y a principios del siglo XXI con la profundización en el estudio de la DF. En los últimos veinte años, gracias a diferentes avances teóricos y técnicos, es cada vez más común encontrarse con estudios de biodiversidad con un triple enfoque (Tabla 1).

Tabla 1. Estudios relevantes a nivel mundial que incluyen la variación en las características del hábitat y su influencia en la DT, DF y DFg.

Autor(es)	Dimensión de la diversidad	Características del hábitat evaluadas	Escala
MacArthur y MacArthur, 1961	DT	Diversidad de los estratos foliares	Local
Karr y Roth, 1971	DT	Distribución horizontal del estrato arbóreo y arbustivo en hábitats abiertos	Local
Şekercioğlu, 2002	DT	Cobertura del dosel, densidad arbórea y heterogeneidad horizontal de la distribución de los árboles	Local
Devictor et al, 2010	DT, DF y DFg	Congruencia espacial de las tres diversidades en ambientes naturales y urbanos	Regional y Continental
Frishkoff et al., 2014	DFg	Variación en tres tipos de uso de suelo: reservas forestales, sistemas agrícolas diversificados y monocultivos intensivos	Regional
Chocron et al., 2015	DT	Variables ambientales, altitud,	Continental

		temperatura y precipitación a escala de 400 m y 5 km	
Morelli et al., 2017	DT, DF y DFg	Estructura de la vegetación y cobertura en parques urbanos	Local
Belcick et al., 2020	DT, DF y DFg	Conectividad de fragmentos de bosque	Paisaje
Nava-Díaz et al., 2022	DT, DF y DFg	NDVI de parques urbanos	Local

Se destaca un consenso general con respecto a que la complejidad entendida como el número de elementos generalmente asociados con la vegetación y la heterogeneidad a escala local y regional tienen una correlación con alguna o las tres dimensiones de la biodiversidad. No obstante, el trabajo de Chocron et al. (2015) provee evidencia de que la heterogeneidad a gran escala pierde poder predictivo sobre los patrones de diversidad taxonómica debido a la hipótesis de la disyuntiva área-heterogeneidad, en donde la heterogeneidad ambiental a grandes escalas acarrea efectos negativos sobre la diversidad de aves.

Otros enfoques como el de Devictor et al. (2010) mencionan la importancia de incluir las tres dimensiones de la diversidad en los estudios de aves, ya que la toma de decisiones orientadas a la conservación no se puede basar puramente en la DT.

Es notable como a los estudios de biodiversidad con un triple enfoque, se le han incorporado a todo el desarrollo científico que tiene que ver con la hipótesis de la heterogeneidad del hábitat, con trabajos a diferentes escalas que van desde escalas locales hasta regionales o incluso continentales. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos se han llevado a cabo en ambientes urbanizados o generalmente se llevan a cabo en diferentes unidades de paisaje boscoso del norte global.

Tomando en cuenta a las SBC, generalmente las investigaciones de biodiversidad utilizan a la DT en su mayoría y el tipo de vegetación resulta ser una variable categórica que sirve para hacer comparaciones entre diferentes vegetaciones y usos de suelo. No obstante, en la última década, se han publicado algunos trabajos que evalúan además de la DT a la DF y en menor medida a la DFg (Tabla 2).

Tabla 2. Trabajos relevantes llevados a cabo en SBC mexicanas. Es importante destacar que la inclusión de DF y DFg comenzó a ocurrir avanzada la década del 2010.

Autor(es)	Dimensión de la diversidad	Características del hábitat utilizadas y objetivo del estudio	Escala
Ramírez-Albores y Ramírez-Cedillo, 2002	DT	Descripción de la comunidad de aves de la región oriente de la REBIOSH*. Uso de hábitat como variable categórica.	Local
Ramírez-Albores, 2007	DT	Diversidad de las aves de la región Alto del Balsas. Uso de hábitat como variable categórica.	Local y Regional
Vázquez-Reyes et al., 2017	DF	Comparación de un bosque de encino y SBC bajo un gradiente de perturbación para definir si existe homogenización en los rasgos funcionales	Local
Vázquez-Reyes et al., 2021	DF	Comparación de un bosque de encino y SBC bajo un gradiente de perturbación para determinar la presencia de aves ruderales	Local
Escobar-Lujan et al., 2022	DT, DF y DFg	Determinación de la relación entre las tres dimensiones de la diversidad con un escenario de cambio climático. Se utilizaron variables espaciales y climáticas perspectivas y prospectivas.	Regional

*Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla

Las investigaciones anteriormente citadas se llevaron a cabo en diferentes SBC de México, siendo las más representadas las pertenecientes a los estados de Guerrero, Morelos y con menor frecuencia aquellas pertenecientes a Puebla y la Península de Yucatán. Es importante resaltar que aquellos estudios que abordaron algún otro enfoque de la diversidad alternativo a la DT tienen menos de 10 años de ser publicados, lo que indica que, en comparación con las tendencias globales, en nuestro país este tipo de enfoques es aún novedoso.

III. JUSTIFICACIÓN

Los estudios de la diversidad de aves en la SBC mexicana son cruciales debido a su alta biodiversidad y elevado número de endemismos. Sin embargo, la SBC es un ambiente amenazado por actividades agropecuarias. En el contexto del Antropoceno, es muy importante conocer cómo la heterogeneidad ambiental del hábitat afecta a la biodiversidad. Esta investigación es novedosa porque adopta un enfoque tridimensional que incluye a la DT, DF y DFg, permitiendo una comprensión integral de las comunidades de aves y el cómo la variación ambiental impacta a cada dimensión. El enfoque del trabajo es esencial para desarrollar estrategias de conservación efectivas y además representa un avance significativo en la investigación ecológica en México.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo influye la heterogeneidad ambiental y estacional en la diversidad taxonómica, funcional y filogenética de la avifauna en una selva baja caducifolia?

V. HIPÓTESIS

La heterogeneidad de la SBC explicada por la variación espacial y estacional de su vegetación y por intervención antrópica en sus zonas más heterogéneas estará relacionada positivamente con una mayor riqueza de especies (DT), la presencia de una mayor cantidad de rasgos funcionales relacionados con la alimentación y estrategias de forrajeo (DF) y una mayor historia evolutiva medida en las distancias entre los taxones (DFg) en comparación a zonas más homogéneas.

VI. OBJETIVOS

Objetivo General:

Determinar la influencia de la heterogeneidad espacial y estacional en la diversidad (taxonómica, funcional y filogenética) de una comunidad de aves en la selva baja caducifolia.

Objetivos Particulares:

- Describir la estructura del estrato arbóreo de la vegetación destacando su variación horizontal a escala local.
- Evaluar si existe heterogeneidad espacial en los puntos de muestreo
- Establecer si existe una correlación entre las características evaluadas del hábitat y la diversidad de aves.

VII. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en una Unidad de Manejo y Aprovechamiento de la Vida Silvestre (UMA) perteneciente al Ejido Rancho El Salado en el municipio de Jolalpan de la zona socioeconómica denominada como la Mixteca Poblana (Figura 1). La región corresponde a la cuenca del río Balsas, que se caracteriza por ser una región en la que se superponen elementos bióticos neotropicales y neárticos. Ubicada en la zona centro de México por debajo de los 2000 msnm, esta zona presenta escasa precipitación pluvial y sequías continuas que provocan la prevalencia de paisajes semi-áridos como la selva baja caducifolia y los matorrales xerófilos. Ambientalmente, se caracteriza por tener una temperatura promedio de 25 °C y una precipitación anual media de 850 mm, siendo abril el mes más seco y julio el más lluvioso (INAFED, 2022, CONAGUA, 2022). Algunas de las especies vegetales más comunes son el pochote (*Ceiba parvifolia*) palo blanco (*Conzattia multiflora*), el copal

(*Bursera copalifera*) y el guaje (*Leucaena glauca*) (López-Téllez et al*.,* 2007).

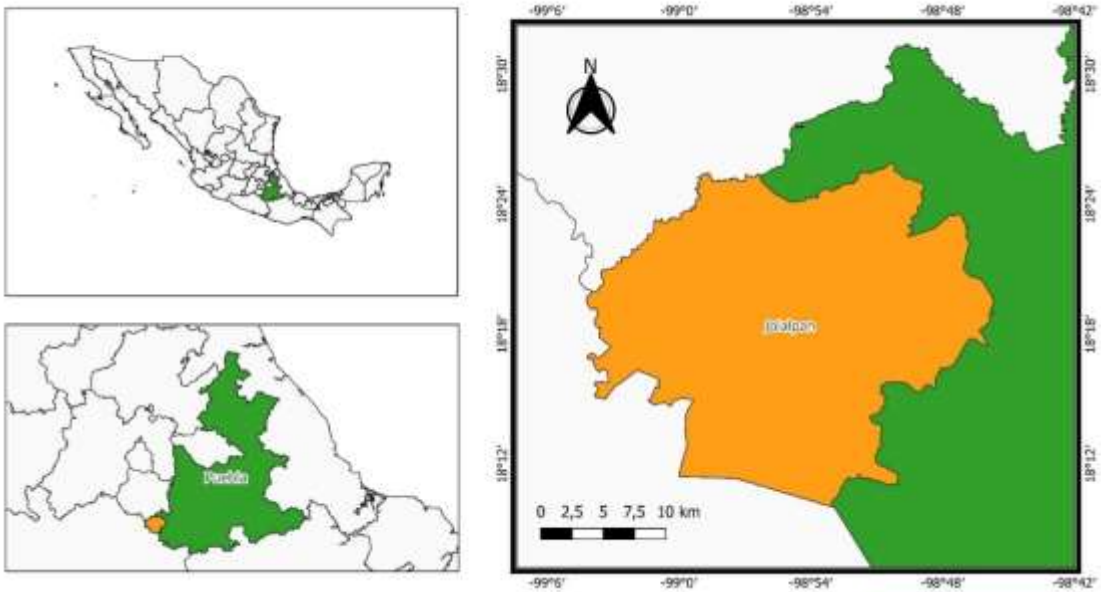


Figura 1. Ubicación del municipio de Jolalpan. Elaboración propia a partir de los datos de división política estatal y municipal de INEGI, 2023.

Trabajo de campo

Elección de unidades de muestreo

Realicé observaciones de aves durante la primera semana de abril del 2023, que es junto con mayo uno de los meses más secos de la temporada (CONAGUA, 2023). Para la temporada de lluvias se realicé las observaciones a mediados del mes de octubre del 2023, que es el último mes de la temporada de lluvias (CONAGUA, 2022). Las unidades de muestreo seleccionadas fueron cincuenta y cuatro parcelas de radio fijo (25 m) distribuidas en tres parajes diferentes (Alseseca, Cabañas y Presa) con dieciocho parcelas cada uno. Las parcelas se encontraban separadas entre sí por al menos 200 metros con el fin de mantener su independencia espacial y estadística (Ralph et al*.*, 1994; Bibby et al*.,* 2000).

Es importante mencionar que, durante la temporada de lluvias debido a imprevistos logísticos relacionados con el clima, no fue posible replicar el esfuerzo de muestreo de la temporada de secas (n=54). En octubre, solamente realicé las observaciones

de aves en treinta parcelas, diez por cada paraje. Debido a esta limitación, para los posteriores análisis de datos de la temporada de lluvias, serán consideradas solamente las parcelas en las que se completó el trabajo de campo.

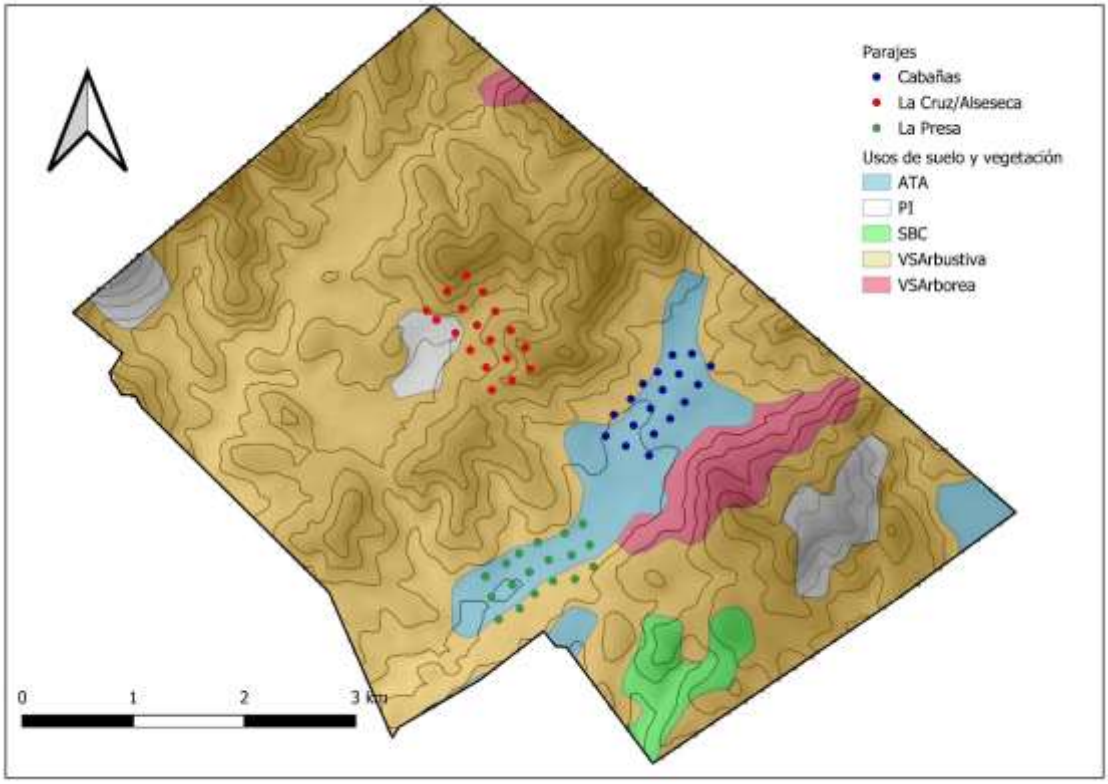


Figura 2. Polígono de la UMA del Ejido Rancho El Salado, municipio de Jolalpan, en la Mixteca Poblana. Cada agrupación representa un paraje distinto, mientras que cada punto representa una parcela de radio fijo. **ATA:** Agricultura de temporal anual; **PI:** Pastizal inducido; **SBC:** Selva baja caducifolia; **VSArbustiva:** Vegetación secundaria arbustiva; **VSArborea:** Vegetación secundaria arbórea.(Elaboración propia con el continuo VII de vegetación y uso de suelo de INEGI y las curvas de nivel con un modelo de elevación digital de la carta topográfica E14B71)

Conteo de Aves

Hice observaciones dentro de los puntos seleccionados durante el horario de actividad principal de las aves fue entre las 06:30 y 12:00 horas en intervalos de 10 minutos, contados a partir de la detección de la primera ave (Ralph et al, 1994). Los registros visuales se realizaron usando binoculares 10X40 tomando en cuenta exclusivamente a los individuos que se encontraban perchando dentro de los

límites de la parcela. Se anotaron la especie y el número de individuos correspondientes a cada una. La identificación de las especies de aves se realizó con guías de campo especializadas (Howell y Webb, 1995; National Geographic Society, 1999). Además de las observaciones, obtuve grabaciones de audio en una grabadora ZOOM H2Next con una duración de cinco minutos por cada parcela para tener un registro de la actividad acústica y facilitar la identificación mediante cantos. Los audios fueron procesados con la versión 3.7 del software Audacity (R) (Audacity Team, 2023) con el fin de tener mayor nitidez y calidad. Para complementar el análisis de datos acústicos, utilicé a la plataforma de reconocimiento automático de cantos BirdNet que está basada en *machine learning* para proporcionar especies probables basándose en la coincidencia de la estructura del canto con las especies que se distribuyen en la región seleccionada (Kahl et al*.,* 2021). Las coordenadas y la altitud de cada punto de muestreo fueron registradas mediante de un GPS Garmin 3200-3300.

Estructura forestal de la SBC

Para describir la estructura del estrato arbóreo de la SBC utilicé el método de cuadrantes centrado en un punto, coincidiendo el punto con el centro de las parcelas de radio fijo del censo de aves. Con una extensión de 50X50 metros, a partir del punto central se definieron cuatro cuadrantes de 25 metros de lado, dentro de los cuales se midió la distancia al árbol más cercano a partir del punto, la especie del árbol, el DAP, la altura, el largo y ancho de la copa (Cottam et al., 1953). Este es un método eficiente que permite determinar la densidad y cobertura del estrato arbóreo, además a partir de una aproximación cuantitativa es posible determinar la importancia relativa de las especies medidas. La importancia relativa está basada en el tamaño del árbol, su frecuencia y densidad a lo largo de un área específica (Mitchell, 2007). La identificación de los árboles se realizó *in situ* gracias al apoyo de los ejidatarios locales quienes proporcionaron los nombres comunes de los árboles medidos, además de tener registro fotográfico y usar el trabajo de García-Loza y López-Téllez (2016) como guía para la correcta determinación de la identidad

taxonómica de los árboles. Además de los datos descritos, en cada cuadrante se estimó el porcentaje de cobertura de herbáceas y pedregosidad.

Trabajo de Gabinete

Variables espaciales

Adicional a las medidas de la vegetación utilizando los cuadrantes a partir de un punto fijo, se utilizaron medidas espaciales relevantes como la altitud, la pendiente, y un índice normalizado de la vegetación (NDVI).

El NDVI es un índice que se basa en la reflectancia de la luz roja e infrarroja, con la ventaja de que proporciona información complementaria acerca de la cobertura de la vegetación y la biomasa disponible (INEGI, 2022). Las capas para obtener el NDVI fueron obtenidas a partir de las imágenes del satélite Landsat 9 proporcionada por *U.S Geological Survey* en colaboración con la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* (U.S Geological Service, 2024). Para reducir variaciones no deseables, se utilizaron las imágenes disponibles más cercanas a los dos periodos de trabajo de campo (4 de abril para la temporada de secas y 20 de octubre para la de lluvias). Utilizando las bandas 4 (RED) y la 5 (NIR) que tienen una resolución espacial de 30 metros se realizó el siguiente cálculo:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Los valores de NDVI varían entre -1 y +1. Los valores negativos indican la ausencia de vegetación, mientras que los positivos representan áreas con vegetación. Mientras más altos sean los valores de NDVI se indica una vegetación más densa (Hashim et al*.,* 2016).

El uso de medidas espaciales a través de sensores remotos ha cobrado especial relevancia recientemente debido a que permiten caracterizar los sitios de estudio de manera complementaria al trabajo en campo, además de permitir categorizar las dinámicas de la vegetación (Pettoreli et al*,* 2018). Todas las variables espaciales fueron procesadas utilizando el software QGIS 3.28. Las variables altitud y

pendiente fueron obtenidas mediante una capa ráster de elevación digital (DEM) de la carta topográfica E14B71 (INEGI, 2023).

Análisis de datos

Importancia relativa del estrato arbóreo

El índice de valor de importancia (IVI) es un cálculo que sirve para describir la relevancia ecológica de una especie vegetal en un ensamble, en este caso de árboles. Considerando a cada paraje como un bloque de dieciocho puntos de muestreo y cuatro cuadrantes cada uno, realicé el cálculo de IVI y posteriormente de la importancia relativa siguiendo el método descrito por Mitchell (2007) que toma en cuenta los siguientes elementos:

- **Frecuencia absoluta:** Es la proporción de puntos de muestreo en los que se encuentra cada especie. La frecuencia absoluta permite saber si los árboles se encuentran concentrados en sitios específicos o si se encuentran distribuidos uniformemente a lo largo de los puntos de muestreo.

$$Frecuencia\ relativa = \frac{Número\ de\ unidaes\ con\ la\ especie\ (k)}{Número\ total\ de\ unidades\ muestreo} x100$$

- **Densidad absoluta de cada especie:** Es el número esperado de individuos por unidad de área.

$$Densidad\ absoluta = \frac{Cuadrantes\ con\ la\ especie\ k}{4(n)} x\ Árboles\ totales$$

- **Dominancia absoluta:** Se refiere al área basal (sección transversal del tronco a 1.3 m de altura) ocupada por una especie en el área de estudio, por lo tanto, se calcula a partir del DAP.

$$Dominancia\ absoluta = \sum Área\ basal\ por\ especie$$

La importancia relativa fue calculada para las cinco especies de árboles con mayor IVI utilizando la siguiente fórmula:

$$Importancia\ relativa = \frac{IVI\ por\ especie}{IVI\ total\ (5\ spp)}$$

Índice de heterogeneidad

Para determinar de forma cuantitativa el grado de heterogeneidad de cada paraje propongo el uso de un índice de heterogeneidad. Modificado de la metodología propuesta por Roth (1976), en lugar de calcular el índice de heterogeneidad asociado a la distancia al árbol más cercano únicamente, se utilizaron las medidas asociadas a cada árbol del cuadrante y al NDVI.

$$\boldsymbol{H'_i = CV_d + CV_c + CV_{DAP} + CV_a + NDVI}$$

H'_i: Índice de heterogeneidad de la parcela *i*

CV_d: Coeficiente de variación de la distancia

CV_c: Coeficiente de variación de la cobertura

CV_{DAP}: Coeficiente de variación del DAP

CV_a: Coeficiente de variación de la altura

NDVI: Índice normalizado de vegetación

Para calcular el índice de heterogeneidad por paraje se realizó la siguiente fórmula:

$$H_P = \sum_{i=1}^{18} H'_i$$

Determinación de gradientes ambientales

Para determinar si las variables asociadas a la vegetación y espaciales muestran alguna tendencia de ordenación, se realizó un análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) correspondiente a cada muestreo (secas y lluvias) Integrando el promedio del DAP, cobertura, altura de los árboles, el promedio del porcentaje de cobertura de herbáceas y pedregosidad, la altitud, pendiente y el NDVI medio de cada una de las parcelas. Para este análisis se utilizó el software CANOCO 5 (González-Oreja, 2003; Šmilauer y Lepš, 2012).

Curvas de interpolación y extrapolación por paraje

Se utilizaron a las tres dimensiones de la diversidad por paraje para describir los valores máximos generales observados. Mediante el paquete iNEXT.3D (Chao et al.*,*2021) se realizaron curvas de interpolación y extrapolación para cada una de las dimensiones de la biodiversidad evaluadas. Con esta paquetería de R (4.4.0, *R Core Team,* 2024) se realiza una unificación del marco conceptual de los números de Hill para la DT (Chao y Jost, 2012; Hsieh et al*.,* 2016) y sus generalizaciones para la DF y DFg (números de Hill-Chao). La DT cuantifica el número efectivo de especies, DFg mediante la DFg media (PD Mean) cuantifica el número efectivo de linajes divergentes y DF calcula el número efectivo de grupos funcionales virtuales (Chao et al*.,* 2021).

Datos de incidencia y detección imperfecta

La detección de especies en campo es una cuestión que se ve implicada en el censo de una comunidad avifaunística. Al combinar datos de observaciones directas y grabaciones de audio, se propone la utilización de matrices de presencia/ausencia para cada parcela, ya que, al tener registros exclusivamente auditivos o visuales para determinadas especies podría dar lugar a la sobre estimación o infra estimación de las diferentes especies usando como base a las abundancias. La utilización de presencias y ausencias permite eliminar sesgos de observación

(Morelli et al., 2022) y es un método especialmente útil en ambientes como la selva baja caducifolia en la que la detectabilidad y posterior conteo de ciertas especies poco conspicuas resulta inconveniente (Ramírez-Albores, 2007).

Diversidad Taxonómica (DT): Para caracterizar la DT de cada una de las parcelas, se utilizó la riqueza por parcela. Lo anterior quiere decir que la evaluación de DT es independiente de la abundancia de las aves, este enfoque permite caracterizar de manera sencilla a la DT.

Diversidad Funcional (DF): Para determinar la diversidad funcional por parcela se utilizó la metodología propuesta por Petchey y Gastón (2002). El índice de diversidad funcional está basado en las distancias que existen entre las especies que coexisten en una misma parcela. Para elaborar la matriz de distancia se utilizaron dos rasgos funcionales relacionados estrechamente con la estructura del hábitat, la dieta primaria, el sustrato de forrajeo y la estacionalidad. Los rasgos funcionales fueron obtenidos a partir de la "Base de datos de características ecológicas para aves y mamíferos presentes en México" (González-Salazar et al*,* 2013). Para el procesamiento de los datos se utilizó el software *FDiversity* (Casanoves et al*.,* 2011) con los rasgos funcionales en una matriz Gower para obtener el índice de diversidad funcional por parcela (pFD por sus siglas en inglés).

Diversidad Filogenética (DFg): Para determinar la diversidad filogenética, se realizó un árbol filogenético con las especies observadas para cada temporada y para cada parcela en *BirdTree.org* que es un repositorio mundial de datos de aves. Se obtuvieron 100 árboles a partir de la fuente *Hackett* que contiene hasta 1000 árboles de 11000 especies (Jetz, 2012). A través del software Mesquite 3.11 (Maddison y Maddison, 2023) se generó un árbol de consenso que fue la base para obtener la DFg por parcela y para generar las curvas de interpolación y extrapolación iNEXT.3D. Utilizando la metodología propuesta por Faith (1992), se

calculó la distancia de cada ramificación de la cladograma. Esta metodología resulta ser útil por la accesibilidad del método, así como la importancia que puede tener conocer las implicaciones de la pérdida de la diversidad en la historia evolutiva de la comunidad. El cálculo de la DFg por parcela fue llevado a cabo mediante el paquete "*picante*" en el software R 4.4.0 (Kembel et al*.,* 2010; R Core Team, 2023)

Análisis de Redundancia (RDA)

Para determinar si las variables del hábitat seleccionadas tienen un efecto sobre los diferentes valores de diversidad por parcela se realizó un análisis RDA por temporada. Este es un análisis de ordenación en cuya salida gráfica se pueden observar las variables de respuesta y explicativas como vectores en un plano cartesiano. Si los vectores de las variables de respuesta y explicativas señalan hacia la misma dirección se puede inferir una relación directa, mientras que en el caso contrario una relación inversa, la longitud de los vectores también reflejan su importancia en el eje sobre el que se extienden pudiendo generar gradientes basados en su variación (Šmilauer y Lepš, 2014).

VIII. RESULTADOS

Descripción general del estrato arbóreo

El paraje Alseseca (Tabla 3) tuvo una mayor densidad de árboles en contraste con Cabañas (Tabla 4) en donde se concentran una mezcla de actividades agrícolas como el cultivo de temporal y zonas de pastoreo, lo que implica una menor densidad de árboles, pero una mayor cobertura de plantas herbáceas. En el caso del paraje Presa (Tabla 5) mostró una ligera diferencia de densidad arbórea, comparado con , presencia de zonas de cultivo y la presencia de especies nativas perennifolias como el guamúchil (*Pithecellobium dulce*) y el guayabillo (*Psidium sp*) que fueron introducidas. Es importante mencionar que las características de los árboles no eran constantes entre los diferentes parajes. Para Alseseca, a pesar de contar con una mayor densidad arbórea, se trata de una zona en la que se puede encontrar la mayor concentración de vegetación secundaria, esto quiere decir que su estrato arbóreo se ve representado en su mayoría por árboles caducifolios de estatura menor a 10 metros en comparación a los que se puede encontrar en los demás parajes.

Tabla 3. Las cinco especies más importantes en el paraje Alseseca. Se destaca el nombre común de la especie y las variables que se utilizaron para calcular el porcentaje de importancia relativa.

	Densidad absoluta	**212 árboles/ha**	**Área Total**	**48 ha**
Especie (k)	**Densidad Absoluta de *k* (arb/ha)**	**Dominancia absoluta (área basal en m^2)**	**Frecuencia absoluta (% de parcelas ocupadas)**	**% Importancia Relativa**
Brasil (*Haematoxylum brasiletto)*	38	41.56	55.55	26.61
Pochote (*Ceiba aesculifolia)*	21	68.88	33.33	25.99
Palo blanco (*Lysiloma divaricata)*	41	16.93	61.11	22.23
Cubata (*Acacia cochliacantha)*	24	6.76	38.88	12.66
Cuachalalate (*Amphipterygium adstringens)*	21	16.09	27.77	12.48

Figura 3. Perfil de vegetación del paraje Alseseca. Las especies más frecuentes como el brasil, el pochote y el palo blanco están representadas. Este paraje se caracteriza por tener la mayor densidad arbórea.

Tabla 4. Importancia relativa de los árboles del paraje Cabañas. Este paraje presentó la menor densidad de árboles con respecto a los otros dos parajes. Las especies con mayor importancia relativa se caracterizan por ser caducifolias

Especie (k)	**Densidad absoluta**	**140 árboles/ha**	**Área Total**	**48 ha**
	Densidad Absoluta de *k* (arb/ha)	**Dominancia absoluta (área basal en m^2)**	**Frecuencia absoluta (% de parcelas ocupadas)**	**% Importancia Relativa**
Cubata *(Acacia cochliacantha)*	29	20.17	55.55	30.97
Linaloe (*Bursera lináloe)*	21	27.92	44.44	30.47
Palo blanco (*Lysiloma divaricata)*	16	9.55	33.33	16.44
Copal *(Bursera bipinnata)*	10	12.84	22.22	14.38
Coyotomate (*Vitex mollis)*	10	2.56	16.66	7.71

Figura 4. Perfil de vegetación del paraje Cabañas. Este paraje se caracteriza por tener una menor densidad de árboles, en donde el más importante es la cubata debido a su frecuencia y densidad.

Tabla 5. Importancia relativa de los árboles del paraje Presa. La especie más importante, el guamúchil, es una especie perennifolia de gran tamaño, a pesar de ser una planta nativa, en la región fue introducida por los pobladores del Ejido.

Especie (k)	**Densidad absoluta**	**172 árboles/ha**	**Área Total**	**48 ha**
	Densidad Absoluta de *k* (arb/ha)	**Dominancia absoluta (área basal en cm^2)**	**Frecuencia absoluta (% de parcelas ocupadas)**	**% Importancia Relativa**
Guamúchil *(Pithecellobium dulce)*	29	166.23	27.77	34.10
Palo blanco (L*ysiloma divaricata)*	21	24.08	44.44	23.78
Achuchil (*Astianthus viminalis)*	16	102.56	16.66	18.76
Cubata (*Acacia cochliacantha)*	10	4.59	16.66	13.84
Guayabillo (*Psidium sp)*	10	4.84	33.33	9.49

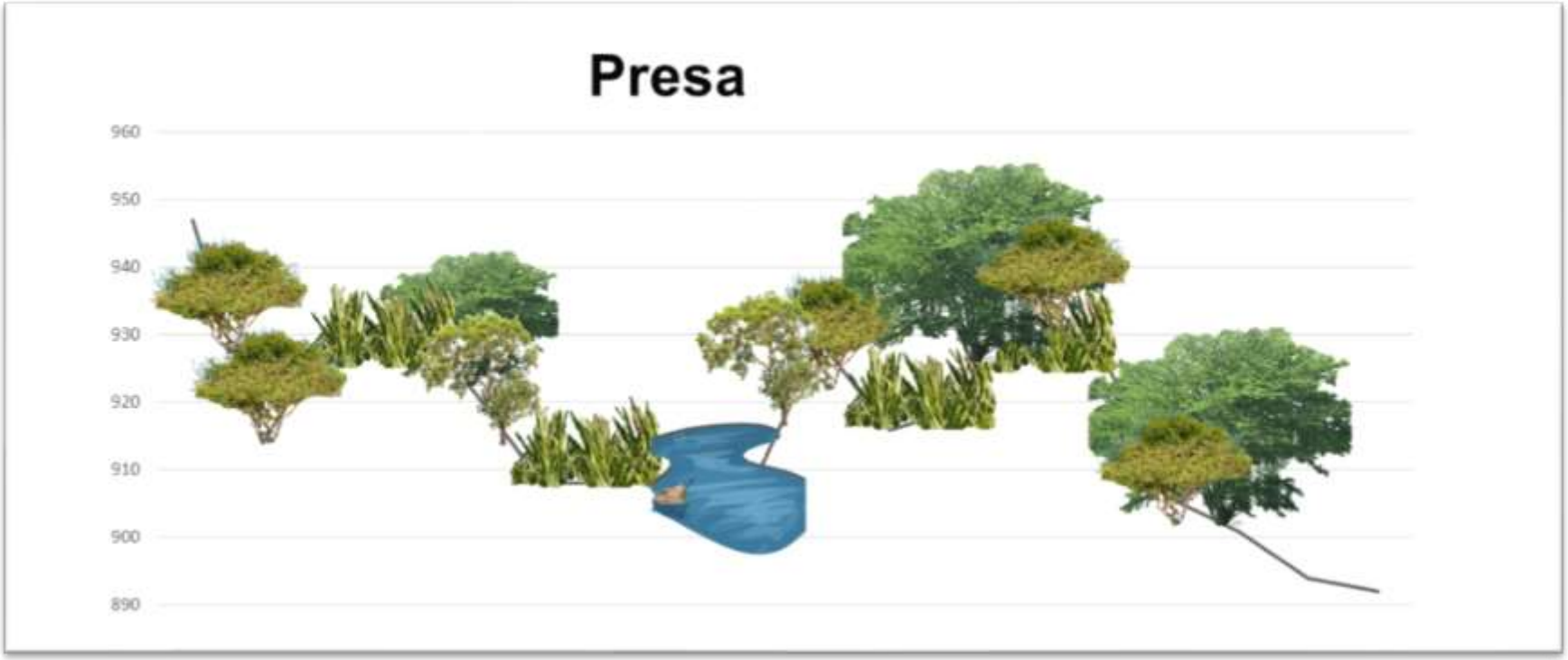


Figura 5. Perfil de vegetación del paraje Presa. En este paraje se destaca la mayor extensión de tierras de cultivo de temporal y potreros. El árbol de guamúchil es el más importante en este paraje, específicamente por su área basal (dominancia).

Variables asociadas al estrato arbóreo y espaciales

El mapa que describe la distribución de los diferentes tipos de suelo y vegetación del Ejido Rancho El Salado muestra que para las 3,125 hectáreas que lo conforman, tiene un 79.96% de vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, seguido de un 8.42% de la superficie destinada a la agricultura de temporal anual.

La distribución espacial del tipo de suelo y vegetación podría indicar que existen condiciones homogéneas entre los tres parajes considerados, ya que se componen mayoritariamente de los dos tipos de uso de suelo y vegetación mencionados, sin embargo, es importante recalcar que, en este estudio considerado a una escala de heterogeneidad pequeña, se encuentran variaciones entre todas las variables asociadas al estrato arbóreo y las variables asociadas al espacio.

El tipo de distribución en el espacio nos permite tener la representación de 48 hectáreas con las variables tomadas en cuenta representadas para cada paraje mostrado en la Tabla 6. Nótese que la variación entre temporadas está dada principalmente por la variación en el NDVI, ya que como se repitieron las parcelas esta medida fue la única diferente.

Tabla 6. Valores medios y desviación estándar ($\bar{x}\pm$D.E) de las variables cuantitativas obtenidas de cada unidad de muestreo

Variable	Alseseca	Cabañas	Presa
	Asociadas al estrato arbóreo		
Altura (m)	6.44±1.57	4.65±1.50	6.31±1.89
DAP (cm)	15.40±5.70	12.93±5.06	20.44±15.55
Cobertura (m^2)	14.90±13.49	22.78±14.90	48.68±41.02
Distancia (m)	6.36±4.89	8.44±4.4	7.61±4.89

Espaciales.			
Altitud (m)	1066.11±45.45	960.22±18.76	916.94±14.94
Pendiente (°)	17.06±7.42	4.72±3.59	6.65±5.39
NDVI* (Secas)	0.13±0.01	0.14±0.01	0.15±0.02
NDVI (Lluvias)	0.27±0.03	0.28±0.04	0.31±0.02
Índice de Heterogeneidad			
Secas	39.33	49.83	48.90
Lluvias	25.92	26.01	28.96

Existe diferenciación en las variables descritas entre parajes, por ejemplo, aunque no existe mucha diferencia media entre la altura del paraje Alseseca y Presa, en el segundo nos encontramos con árboles de coberturas mayores a los que se encuentran en Alseseca. Lo anterior por ejemplo tiene que ver con los árboles con mayor índice de importancia, como el guamúchil (*P. dulce*) que es un árbol perennifolio con una gran cobertura.

En cuanto a las variables espaciales, es evidente que varían entre parajes, destacándose al NDVI, que para los tres parajes se duplicó en la temporada de lluvias, indicando una mayor disponibilidad de biomasa vegetal y en general una estructura de la vegetación más compleja.

El índice de heterogeneidad refuerza que el paraje Presa es el paraje con mayor heterogeneidad, mientras que el paraje Cabañas fue ligeramente más heterogéneo durante la temporada seca y Presa en la temporada de lluvias. Por la composición espacial de los tres parajes, se afirma que existen diferencias entre las condiciones de los parajes y que, además su heterogeneidad es variable.

VIII.I TEMPORADA DE SECAS

Análisis de Componentes Principales (PCA)

Para determinar si existen tendencias espaciales asociadas a las variables espaciales y de la vegetación medidas, se realizó un análisis de componentes

principales (Figura 6) en el que se observa que los parajes se encuentran diferenciados por gradientes asociados al eje 1 como la altitud y la pendiente; así como al eje 2 siendo representado por la cobertura de los árboles, su altura y DAP.

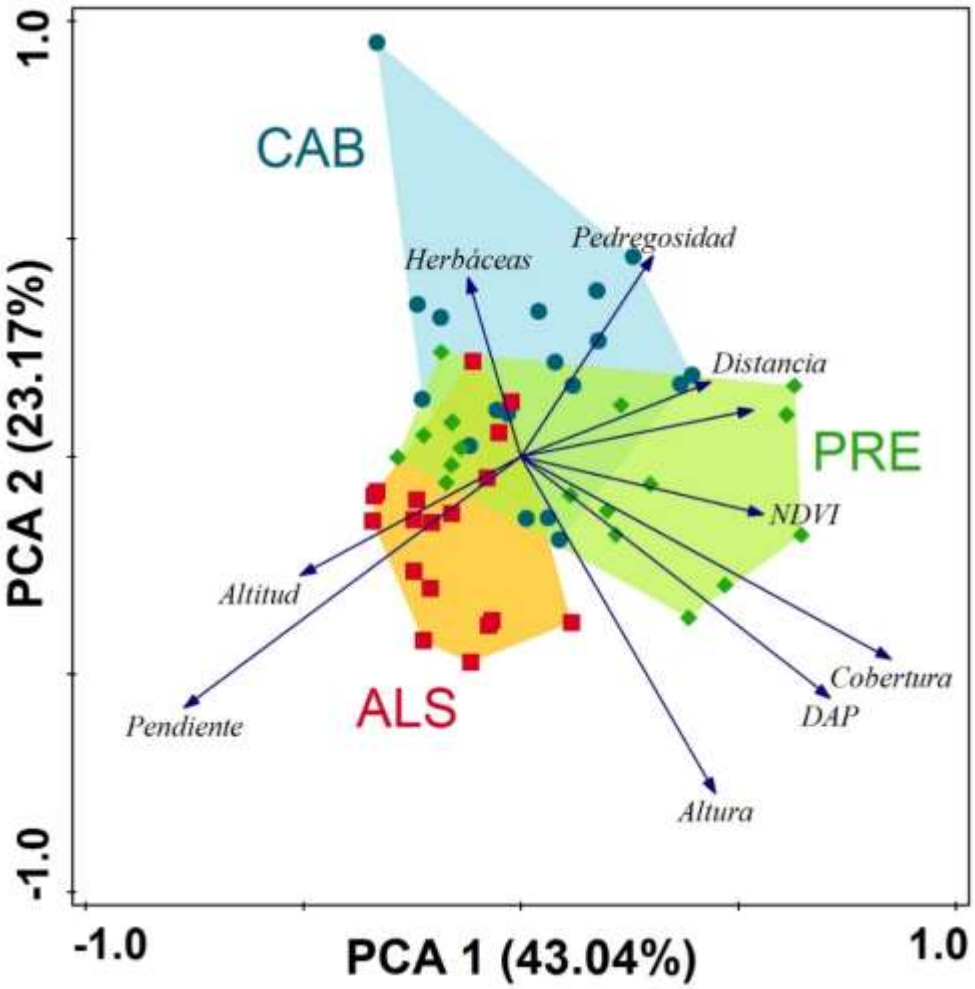


Figura 6. Análisis de Componentes Principales. Muestra el agrupamiento de los parajes explicado por un gradiente de altitud y pendiente asociado al componente uno y un gradiente en la cobertura, DAP y altura de los árboles.

Durante la temporada de secas, el NDVI fue mayor en algunas parcelas del paraje Presa, esto se ve explicado por la presencia de especies perennifolias como *P. dulce* y *Psidium sp.* que también se vieron relacionadas con la variación de características de los árboles como el DAP, la altura y la cobertura. Además de presentar una mayor altitud, el paraje Alseseca tuvo valores bajos de porcentaje de

herbáceas. Debido a las características de su vegetación en conjunto con sus variables espaciales, el paraje Presa resultó ser el más heterogéneo en la temporada de secas y el paraje Alseseca el más homogéneo.

Aves

Se registraron 39 especies distribuidas a lo largo de las 54 parcelas en los tres parajes. Estas 39 especies se clasifican en 6 órdenes y 16 familias, siendo la familia Tyrannidae la mejor representada con 8 especies. Se destaca también la presencia de cinco especies endémicas: *Ortalis policephala, Melanerpes hypopolius, Melanerpes chrysogenis, Pheugopedius felix, Peucaea humeralis* y una especie semiendémica, *Lampormis clemenciae.*

Curva de rango incidencia

La curva de rango-incidencia indica que diferentes especies fueron frecuentes para cada paraje, se destaca además la pendiente de las curvas, siendo más pronunciada especialmente para la Presa y en menor medida para Alseseca, indicando especies que estuvieron presentes en una gran proporción de las parcelas correspondientes a esos parajes. En Cabañas y Presa, *Columbina inca* fue la especie más frecuente, mientras que en Alseseca fue *Empidonax spp.* Es importante señalar que los análisis de audio indicaron que la especie *Empidonax minimus* fue la que se presentó con mayor frecuencia en el estudio, sin embargo, es necesario confirmar la identidad de esta especie, o cualquier otra perteneciente al género *Empidonax,* con sus características morfológicas.

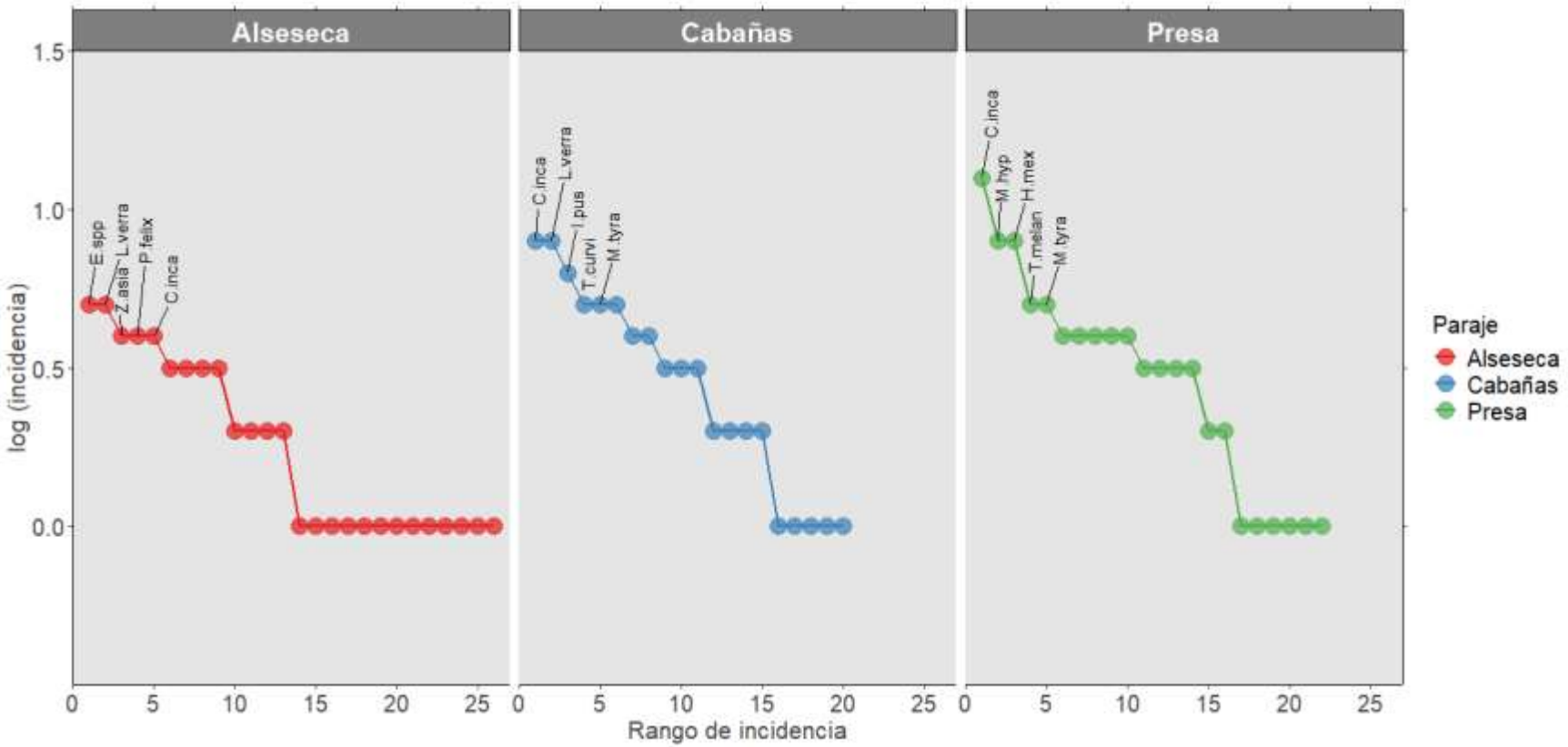


Figura 7. Muestra las curvas de rango incidencia, mostrando a las especies que fueron registradas más frecuentemente en las diferentes parcelas.

Dimensiones de la diversidad por paraje

Para la temporada de secas se determinó el número efectivo de especies, número de grupos funcionales virtuales y número de linajes divergentes a partir de los resultados del análisis de interpolación y extrapolación (Tabla 7).

Tabla 7. Números de Hill (DT) y de Hill-Chao (DF y DFg) para cada uno de los parajes. T=18 se refiere al número de parcelas por paraje. SC=T es la eficiencia de la cobertura del muestreo para una muestra de tamaño T (interpolación). SC=2T es la eficiencia de la cobertura de muestreo para una muestra dos veces el tamaño de T (extrapolación).

Paraje	Diversidad (T=18)	q0	q1	q2	SC=T	SC=2T
Alseseca	DT	26	22	18	79.57	91.36
	DF	8	6	5		
	DFg	6	4	2		
Cabañas	DT	20	16	14	93.27	98.66
	DF	7	6	5		
	DFg	5	3	3		
Presa	DT	21	16	13	94.03	97.39
	DF	9	7	6		
	DFg	6	4	3		

Para un total de 54 parcelas divididas en 18 por cada paraje, Alseseca fue el paraje con un mayor número de especies, seguido de Presa y Cabañas. Sin embargo, esta superioridad en número efectivo de especies para el orden DT^0 no se vio reflejado para la DF, ya que la Presa tuvo un número mayor de grupos funcionales virtuales, lo cual indica redundancia funcional en las especies que fueron registradas en Alseseca. Finalmente, Alseseca *y* Presa contaron con un mayor número de linajes divergentes.

Análisis de Redundancia (RDA)

Con los datos de DT, DF y DFg por parcela como variable de respuesta y las variables espaciales y aquellas asociadas a la composición vegetal arbórea de cada parcela como variables explicativas, se realizó un RDA. El análisis cuenta con un porcentaje de explicación de la varianza del 30.35%. Las variables con una mayor relevancia y asociadas al eje 1 fueron la altitud, la pendiente y la altura y cobertura de los árboles. Como se observa en el *biplot* obtenido, los valores de DT, DF y DFg fueron mayores en las parcelas de los parajes (Figura 8) Presa (verde) y Cabañas (azul), mientras que las parcelas del paraje Alseseca (rojo) además de contar con una mayor altitud y pendiente, contaron con los valores menores de diversidad por parcela. Los vectores asociados a las tres dimensiones de la diversidad tuvieron una relación inversa con la altitud y la pendiente, mientras que la cobertura fue la variable que mantuvo una relación directa fuerte, especialmente con la DFg, lo cual indica un mayor número de especies no tan cercanas filogenéticamente entre ellas. Por otro lado, el NDVI demostró tener una leve relación positiva con la DT

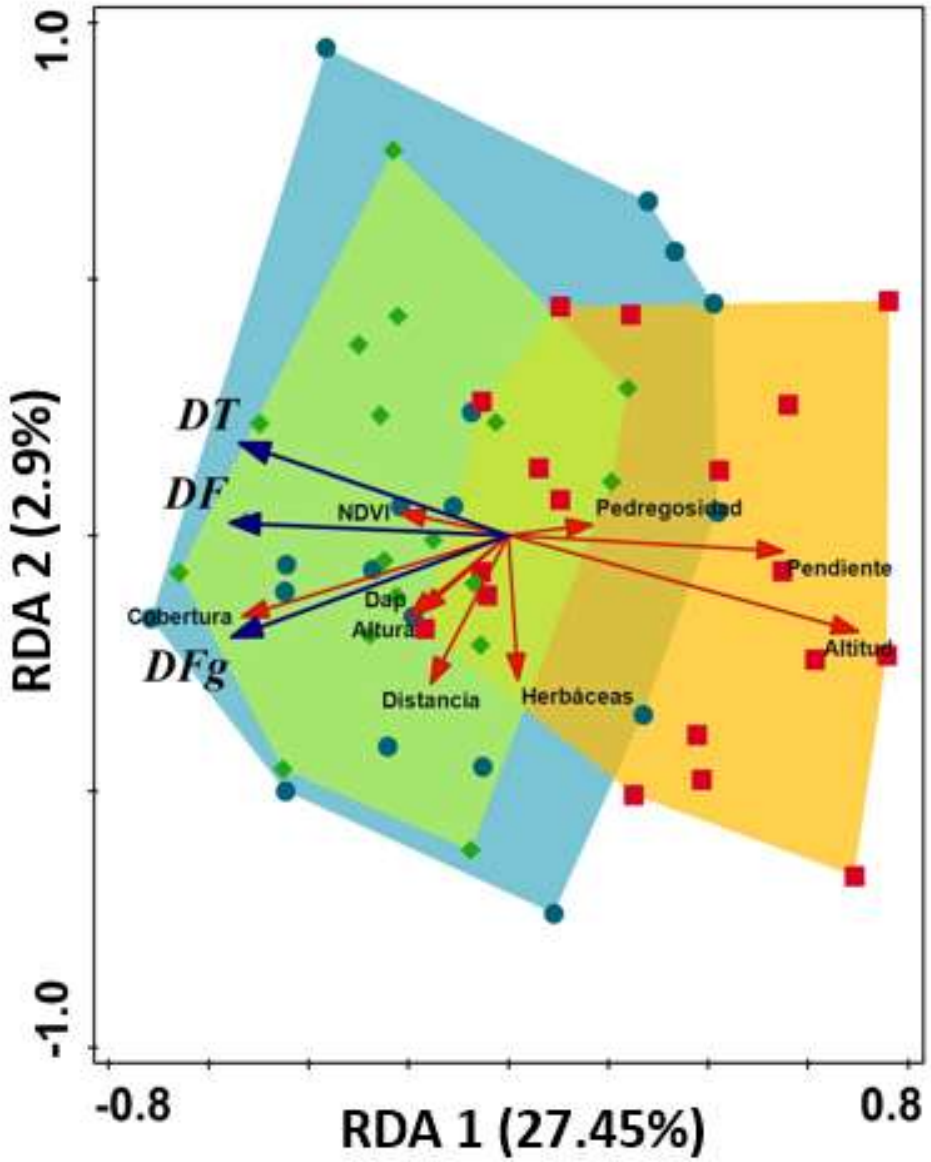


Figura 8. Análisis RDA. Muestra en vectores azules los distintos valores asociados a la diversidad y cómo se ven influidos por las variables del hábitat tomadas en cuenta (vectores rojos)

VIII.II TEMPORADA DE LLUVIAS

Análisis de Componentes principales (PCA)

El PCA correspondiente a la temporada de lluvias muestra algunas diferencias con respecto al de la temporada de secas. El NDVI no resulta ser diferencial en este caso, ya que en la SBC la temporada de lluvias se caracteriza por tener un aumento importante en la biomasa vegetal disponible. En cuanto a las variables que definieron los ejes de ordenación, la altitud y la pendiente siguieron siendo importantes, en conjunto con aquellas que definen a la estructura del estrato arbóreo (Figura 9).

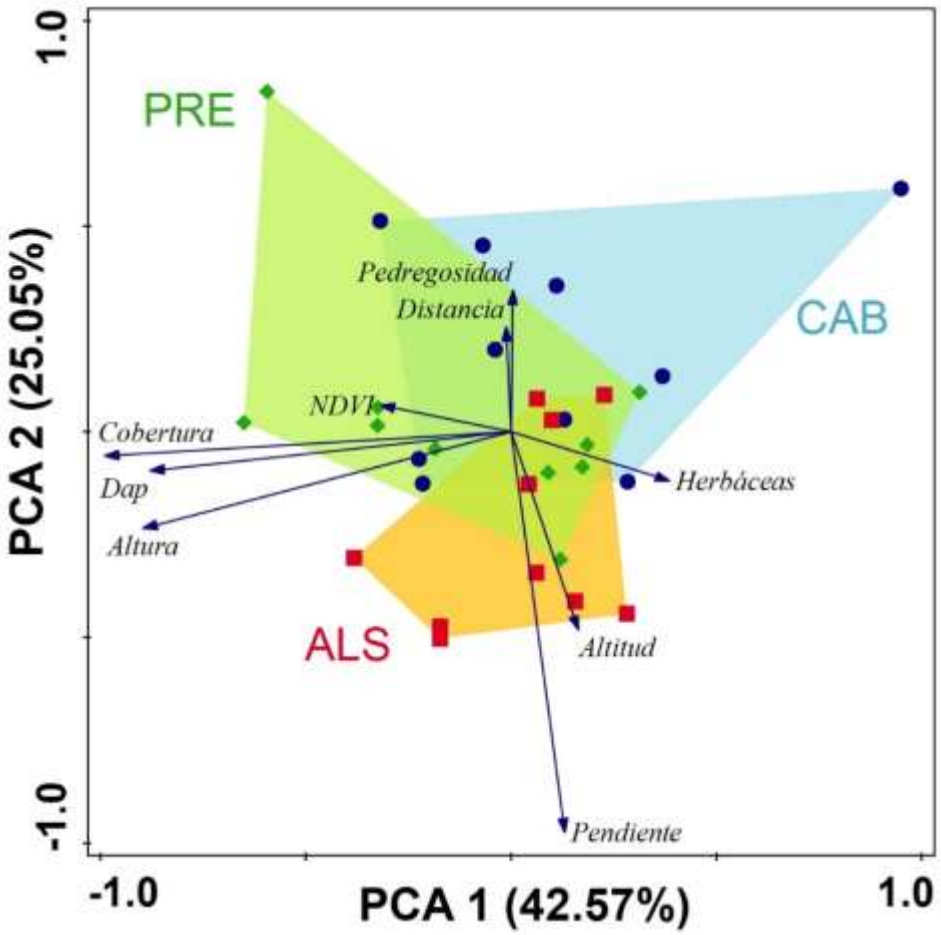


Figura 9. Análisis de componentes principales para la época de lluvias. Es notable la separación entre los diferentes parajes Alseseca en rojo, Presa en verde y Cabañas en azul. La variación para el primer componente se ve explicada por variables asociadas al estrato arbóreo de la vegetación, mientras que, para el segundo componente, para la pendiente y la altitud principalmente.

Aves

Durante la temporada de lluvias fue posible identificar 41 especies distribuidas en 30 parcelas. Estas 41 especies corresponden a 6 órdenes y 17 familias, continuando con la tendencia observada en secas, la familia Tyrannidae fue la más representativa con un total de 7 especies. En esta temporada se registraron 7 especies endémicas: *Momotus mexicanus, Melanerpes chrysogenis, Melanerpes hypopolius, Thryomanes bewickii, Pheugopedius felix, Icterus pustulatus* y *Haemorhus mexicanus.* También fue notable el ingreso de especies migratorias de invierno, con 7 especies: *Anas strepera, Vireo belli, Bombycilla cedrorum, Parkesia noveboracensis, Oreothlypis ruficapilla, Setophaga coronata* y *Cardellina pusilla*.

Curva de rango incidencia

La curva de rango incidencia demuestra que el número de especies fue diferente para los parajes, lo cual se puede ver influido por la reducción en las parcelas de observación, sin embargo, la composición de la comunidad también fue diferente (Figura 10). El paraje Alseseca se vio dominado por *Polioptila caerulea, Empidonax sp, Myiarchus cinarecens, Myiarchus tyrannulus* e *Icterus pustulatus.* El paraje Cabañas tuvo una mayor incidencia de *Polioptila caerulea, Cardelina pussilla, Empidonax sp,, Columbina inca* y *Tyrannus melancholicus.* Finalmente, el paraje la Presa se vio caracterizado por la mayor frecuencia de observación de *Columbina inca, Pitangus sulphuratus, Icterus pustulatus, Tyrannus melancholicus* y *Polioptila caerulea.*

En el paraje Alseseca y Cabañas, *Polioptila caerulea* fue la especie más frecuente, estos dos parajes tuvieron una pendiente más suavizada en su curva, lo que indica que no existe una especie que se destaque por su presencia en la mayoría de las parceles. Por otro lado, en la Presa, *Columbina inca* fue la especie más frecuentemente registrada. Lo anterior es una muestra de la selección de hábitats por parte de las especies una vez que la disponibilidad de recursos aumenta.

Dimensiones de la diversidad por paraje

Al igual que para la temporada de secas, en la temporada de lluvias se determinó el número efectivo de especies, número de grupos funcionales virtuales y número de linajes divergentes a partir de los resultados del análisis de interpolación y extrapolación (Tabla 8).

Tabla 8. Números de Hill (DT) y de Hill-Chao (DF y DFg) para cada uno de los parajes. T=10 se refiere al número de parcelas por paraje. SC=T es la eficiencia de la cobertura del muestreo para una muestra de tamaño T (interpolación). SC=2T es la eficiencia de la cobertura de muestreo para una muestra dos veces el tamaño de T (extrapolación)

Paraje (T=10)	Diversidad	q0	q1	q2	SC=T	SC=2T
Alseseca	DT	18	16	14	70.00	75.1
	DF	7	5	4		
	DFg	5	3	2		
Cabañas	DT	22	18	15	66.00	89.5
	DF	6	5	4		
	DFg	6	5	4		
Presa	DT	23	16	12	76.9	85.5
	DF	9	7	6		
	DFg	7	4	3		

El paraje con un mayor número de especies fue la Presa, seguido de las Cabañas. En la temporada de lluvias, el paraje Presa fue también el que presentó un mayor número de grupos funcionales y linajes divergentes. La DFg se mantuvo constante con respecto a lo observado en la temporada de secas.

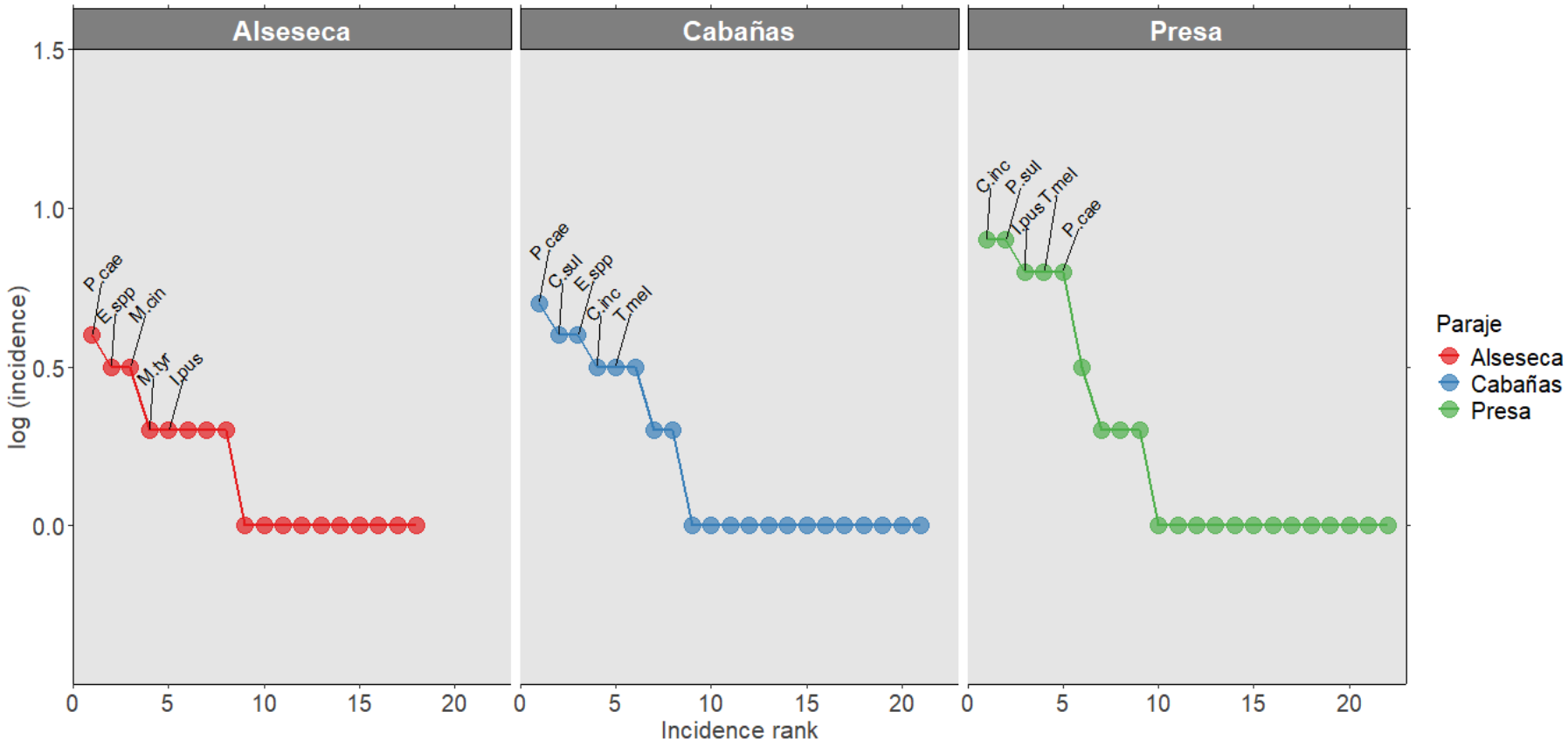


Figura 10 . Curva de rango-incidencia para la temporada de lluvias. Se muestra que la especie más registrada tanto en el paraje Alseseca y Cabañas fue *Polioptila caerulea*, mientras que en la Presa fue *Columbina inca*.

Análisis de Redundancia (RDA)

El RDA de las lluvias presenta un porcentaje de la varianza explicada en sus primeros dos ejes del 29.04%, el primer eje explica un 27.90% de la variación. Con respecto a las variables explicativas, la altitud, pendiente, NDVI y cobertura de los árboles resultaron ser las que tuvieron una mayor carga para explicar la importancia del eje uno. Gráficamente se observa como para las lluvias los grupos de parcelas se encuentran totalmente diferenciados (Figura 11), esto quiere decir que Alseseca tuvo diversidades menores con respecto a Cabañas con valores intermedios y Presa con valores mayores. Por otro lado, la variable que mejor explica el aumento en las diversidades es el NDVI, al haber una mayor disponibilidad de recursos marcados por la disponibilidad asociada también al crecimiento de los cultivos, que son más frecuentes en el paraje Presa.

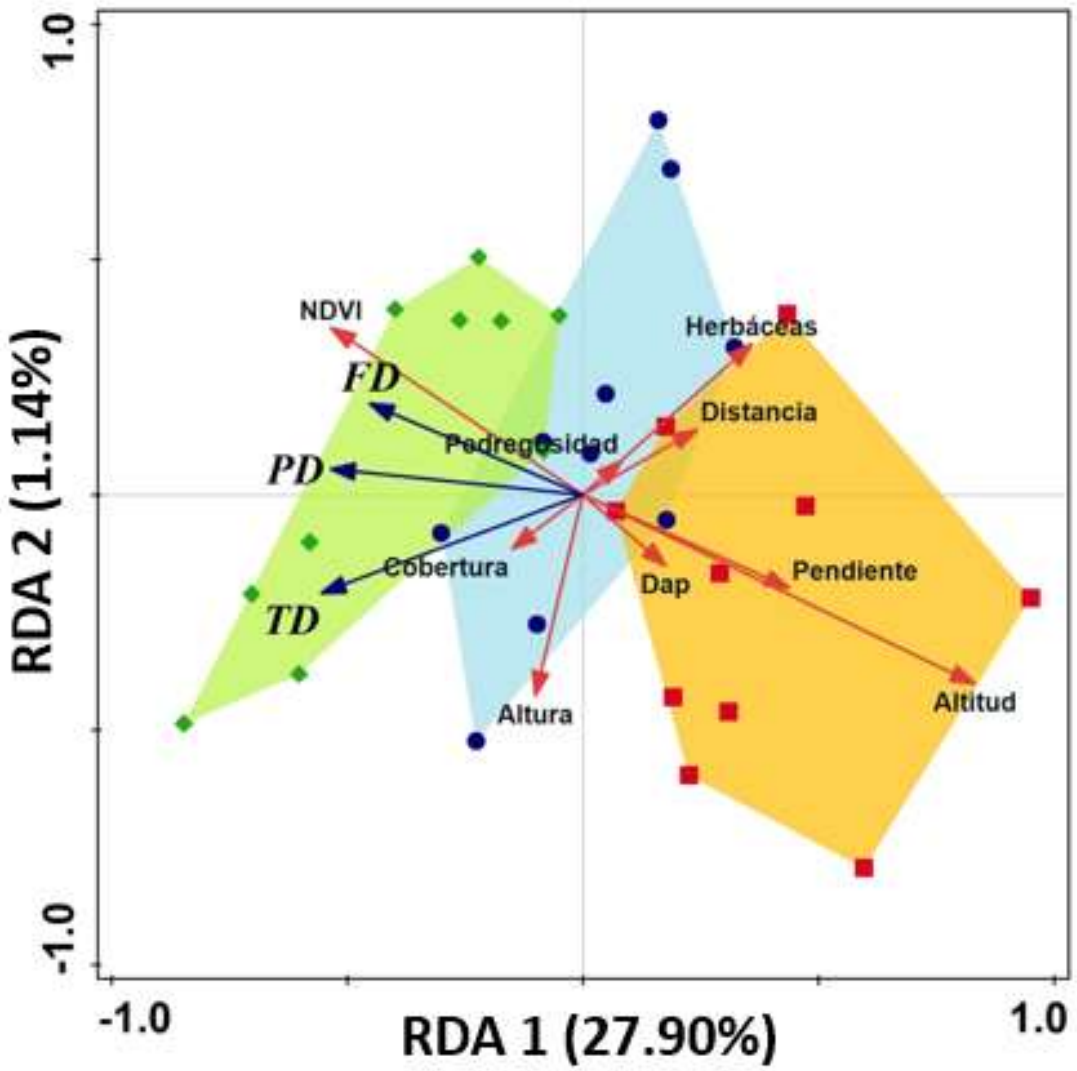


Figura 11. Análisis de Redundancia de la matriz de datos ambientales con los datos de las tres dimensiones de la biodiversidad evaluados. Muestra una tendencia general inversa con respecto a los sitios con mayor altitud. La DF y DFg se ven influidas por los valores más altos de NDVI que se encuentran en el paraje Presa (en verde), mientras que la diversidad taxonómica se ve influida de manera positiva por la cobertura de los árboles.

IX . DISCUSIÓN

Heterogeneidad ambiental

Las variables ambientales seleccionadas que describieron exitosamente la diferenciación del estrato arbóreo y la altitud, pendiente y NDVI de cada parcela y entre los parajes. Generalmente los estudios de heterogeneidad ambiental son realizados a escalas mayores gracias a la creciente disponibilidad de información recabada mediante percepción remota y a grandes escalas con un nivel de detalle aceptable. Sin embargo, los estudios que trabajan la heterogeneidad a escalas más finas no son muy abundantes y son altamente relevantes debido a que la información que otorgan acerca del rango de disponibilidad de recursos en un espacio delimitado puede ser un impulsor determinante para explicar la biodiversidad a nivel local (Stirneman et al*.,* 2015; Stein y Kreft, 2015).

En este contexto, pese a que la descripción espacial según la capa de uso de suelo y vegetación más reciente de INEGI (Continuo VII, 2022) muestra que el sitio es homogéneo, existe una marcada variación entre las especies arbóreas representativas para cada paraje y además en la altitud y en la pendiente de cada parcela. A partir de la información recabada, se puede afirmar que sí existe heterogeneidad a escalas más finas, lo que refuerza el hecho de la necesidad de tomar datos de la vegetación de manera cuantitativa en cada una de las unidades de muestreo acompañados de datos espaciales. Un enfoque que tome en cuenta estas variaciones a nivel parcela y en general de forma local, también puede ser de gran utilidad para entender los mecanismos que llevan a la pérdida de biodiversidad o que también expliquen la resiliencia de los ecosistemas (Stinerman et al*,* 2015; Liao et al., 2020).

Diversos estudios han abordado la variación que existe en la diversidad de aves a lo largo de gradientes altitudinales, teniendo como patrón general que la altitud sí tiene efecto sobre la riqueza y abundancia de las comunidades de aves (Ramírez-Albores, 2007; Pandey et al*.,* 2020; Pineda-López, 2023; Mounir et al*.,* 2024) . En este estudio, se demuestra que la altitud tiene una relación inversa con la diversidad en sus tres dimensiones.

La concentración de diferentes actividades asociadas al asentamiento humano variaba su intensidad entre parajes. En el paraje Presa se encuentran la mayoría de tierras agrícolas de temporal, sin embargo, esta actividad no sólo se veía restringida a esta zona. En el paraje Alseseca siendo el de terreno más accidentado, caracterizado por una mayor variación en la altitud y la pendiente, también se pueden encontrar algunos terrenos de cultivo. El paraje Cabañas resultó ser el que tenía características intermedias entre los dos anteriormente citados.

Asociado a las actividades agrícolas de la zona, las parcelas de la Presa tuvieron un mayor número de especies perennifolias nativas de gran área basal como el guamúchil y el guayabillo, que son especies reportadas como cultivadas intencionalmente en la región de Puebla, Morelos y Guerrero, debido a sus propiedades medicinales y como árboles de ornato (Monroy y Colin, 2004). La presencia de especies perennifolias resulta en un contraste con respecto a los otros dos parajes, ya que en ellos sobre todo se cuenta con especies caducifolias que de manera directa se ven involucradas en una disminución en los recursos tróficos durante la temporada de sequía.

Composición del ensamble de aves

En total, considerando a la temporada de secas y lluvias, se registraron 59 especies de aves diferentes. El Ejido Rancho El Sado se encuentra a 30 kilómetros al suroeste de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (REBIOSH), en el estado de Morelos, esta reserva se caracteriza por tener grandes extensiones de SBC en la cuenca del Balsas, siendo la misma región biogeográfica que en el sitio de estudio. La cuenca del Balsas se caracteriza por su elevado número de especies de aves, teniendo algunas que son endémicas de la región como *Melanerpes hypopolius y Melanerpes chrysogenis.* Trabajos previos han descrito alrededor de 170 a 200 especies diferentes de aves en la REBIOSH (Gómez de Silva y Medellín, 2001; Ramírez-Albores y Ramírez-Cedillo, 2002)., estando las 59 especies registradas en este trabajo previamente identificadas en la SBC de la reserva.

El número de especies registradas podría resultar considerablemente pequeño en comparación de las que potencialmente se distribuyen en la región. Sin embargo, debido a que metodológicamente resultó más importante la detección de especies perchando y vocalizando en cada una de las parcelas para determinar el uso espacial de las mismas es posible infraestimar el número de posibles especies presentes debido a que no son visibles, no se encuentran activas en el horario de las observaciones o no se encuentran activamente cantando (Ralph, 1994; Hilty, 2005).

En la localidad no existe un listado específico que utilice métodos complementarios para obtener la riqueza representativa de las aves diurnas. Se cuenta con registros de monitoreo que reportan a *Caracara plancus, Morococcyx erythropygus* y *Turdus rufopalliatus* que fueron registrados en un trabajo con cámaras trampa en el Ejido *o Amazilia violiceps, Cassiculus melanicterus, Hirunda rustica* y *Passerina lechlancherii* como observaciones personales fuera del periodo del estudio (Observaciones personales, julio de 2024).

Durante la temporada de secas *Columbina inca* fue la especie más registrada en dos de los tres parajes, específicamente esta especie de la familia Columbidae se encuentra fuertemente asociada en la actualidad a paisajes perturbados o incluso urbanizados, debido a su capacidad como generalista en cuanto a requerimientos tróficos y espaciales (Vázquez-Reyes et al*.,* 2017). Además, aunque menos frecuentes, *Streptotelia decaocto y Passer domesticus* también tuvieron presencia en el estudio, lo que puede servir como indicador de la perturbación a la que está sometida la localidad y que, de continuar así, podría significar una pérdida de diversidad de aves y el ingreso y prevalencia de especies exóticas e invasoras.

Efecto de la heterogeneidad ambiental sobre las tres dimensiones de la biodiversidad

En este punto, quedó demostrado que existe variación en las condiciones ambientales de las parcelas y en los parajes seleccionados para el estudio en el espacio y entre la temporada de secas y de lluvias debido a las condiciones particulares de la SBC y su historia de perturbación. Otro punto a destacar es que esta variación también se vio acompañada por diferencias en la composición taxonómica de la comunidad en cada uno de los parajes para las dos temporadas,

El NDVI fue uno de los indicadores más importantes de esta variación y de la influencia que ejercen las condiciones de heterogeneidad ambiental a escala local sobre las comunidades de aves. Durante la temporada de lluvias, el patrón observado corresponde a lo reportado en la literatura previamente. En Presa, el sitio en con mayores valores de NDVI fue el que también tuvo un mayor número de especies, de grupos funcionales y de linajes divergentes. El NDVI además de servir como un índice asociado a la biomasa disponible, también resulta ser una medida indirecta de la complejidad en la estructura de la vegetación, tomando en cuenta la relevancia que tiene el sotobosque y el estrato arbustivo dentro de esta estructura.

En la temporada de secas por otro lado, el NDVI no jugó un papel preponderante para entender la también marcada variación de la diversidad taxonómica, funcional y filogenética entre los parajes Presa y Alseseca principalmente, en donde en el segundo, a pesar de tener un mayor número de especies totales, las especies por parcela y los grupos funcionales y linajes fueron menores, dando indicios de redundancia funcional. El análisis multivariado RDA demostró para la temporada de secas que la variable asociada a la estructura del estrato arbóreo más importante para explicar la diferencia entre los parajes fue la cobertura de los árboles. En este caso, es un fenómeno no muy comúnmente reportado para ambientes semiáridos, pero aquí además de la relación de la cobertura, es importante destacar la composición taxonómica del estrato arbóreo para cada paraje.

En Alseseca, la especie con una importancia relativa mayor fue el árbol de Brasil (*Haematoxylum brasiletto*), que es una especie caducifolia que no supera los 10

metros y que es vegetación secundaria de la SBC. En contraste, en la Presa, el árbol con mayor importancia relativa fue el guamúchil (*Pithecellobium dulce*), especie también secundaria en SBC y generalmente cultivada por el hombre. El guamúchil es un árbol con DAP promedio de 80 cm y que puede llegar a medir hasta 20 metros, resulta ser una especie muy llamativa y contrastante en la temporada de sequías, ya que es una de las dos especies perennifolias registradas en los parajes. Se ha estudiado el impacto que tienen los árboles grandes y de hojas anchas (DAP >70cm) sobre la diversidad en ambientes homogéneos de bosques de coníferas, dando como resultado el efecto positivo que tienen estos árboles, aun no siendo muy abundantes, sobre la diversidad de aves (Kebrle et al., 2023; Beason et al, 2023).

La importancia de incluir un triple enfoque a los estudios de biodiversidad

La forma de estudiar a las comunidades es un tópico que se ha modificado de manera importante a lo largo de las últimas décadas, los retos ambientales en contraste con la mayor disponibilidad de información y técnicas para el estudio de la biodiversidad hace de esta época clave para entender el efecto que tiene el hombre sobre los ambientes naturales.

Los estudios centrados en la diversidad desde un punto de vista taxonómico es una base lógica para el estudio de las comunidades, sin embargo, la diversidad taxonómica solamente permite describir a las especies como entes ecológica y funcionalmente independientes (Webb et al., 2002; McGill et al., 2006; Chao et al., 2021). Por ello, aunque las tres métricas de diversidad sean congruentes espacialmente, lo que quiere decir que tienen una correlación positiva como muestra el RDA, resulta importante conocer las funciones ecológicas que desempeñan las diferentes aves en el hábitat y sus relaciones evolutivas.

El análisis multivariado también muestra que la diversidad funcional y filogenética son las que se encuentran más estrechamente correlacionadas entre sí, lo anterior se puede explicar con la estrecha relación que tiene la historia evolutiva con los

rasgos funcionales (Cadotte et al*.,* 2009;). La diversidad filogenética además de determinar la distancia que existe entre los taxones de una comunidad, también puede servir como *proxy* de la diversidad funcional, ya que en la historia evolutiva se incluyen múltiples rasgos funcionales que definen a las especies pero que no son considerados en el estudio (Monnet et al*.,* 2014; Nava-Díaz et al*.,* 2022).

Una de las aplicaciones más clara que tiene el abordaje de la diversidad desde un enfoque tridimensional en este estudio, tiene que ver con lo observado con respecto a la riqueza de especies en Alseseca durante la temporada seca. La diversidad taxonómica de este paraje fue mayor a los otros dos, sin embargo, fue el que presentó una diversidad funcional menor, lo que indica que las especies son funcionalmente redundantes. Se ha observado que la redundancia funcional es observada generalmente para aves insectívoras en sitios perturbados, teniendo un mayor número de grupos funcionales en ambientes más heterogéneos, como sucedió en la Presa (Luck et al*.,* 2013; Cooke et al*.,* 2019; Galland et al*.,* 2020).

Implicaciones para la conservación

El conocer cuáles son los principales factores que influyen sobre la diversidad de aves es fundamental para realizar esfuerzos de conservación informados y efectivos. Por ejemplo, durante la temporada seca, la presencia de árboles de gran cobertura perennifolios resultó ser de vital importancia para explicar un aumento en las tres dimensiones de la diversidad, mientras que, en la temporada de lluvias, la heterogeneidad dada por los diferentes mosaicos y la disponibilidad de recursos más variados fue lo más importante.

Además de las condiciones del hábitat, la implementación de un enfoque multidimensional de la biodiversidad, evidencia que las comunidades biológicas son más dinámicas de lo que la riqueza de especies puede indicar por sí misma.

Participación social y conservación

Este trabajo fue realizado desde una perspectiva puramente biológica, sin embargo, es necesario que sus resultados y alcances puedan llegar a los pobladores del Ejido Rancho El Salado, ya que ellos son los principales tomadores de decisiones que se verán implicados en el mantenimiento de ese ambiente y el que pueda ser propicio para conservar a la comunidad de aves.

Además de su vital importancia en temas de conservación, la elaboración de este trabajo no habría sido posible sin el apoyo y la disposición de los habitantes del sitio de estudio para la colaboración. Gracias a los conocimientos del territorio de los habitantes del Ejido, se seleccionaron los espacios más adecuados y representativos de la localidad para llevar a cabo el trabajo de campo.

Se pueden definir en trabajos futuros variables que tengan que ver directamente con las actividades agrícolas y ganaderas que desarrollan los pobladores en los sitios de estudio. Como se ha descrito a lo largo del trabajo, el impacto de las modificaciones de origen antrópico es visible. El conocimiento tradicional del espacio también permite realizar representaciones conocidas como cartografías participativas (Figura 12), en las que se puede dar representación del territorio y las actividades más importantes asociadas a los diferentes puntos clave para los pobladores del Ejido. La información de origen social puede proporcionar datos relevantes acerca de la historia y actualidad de nuestros sitios de estudio.

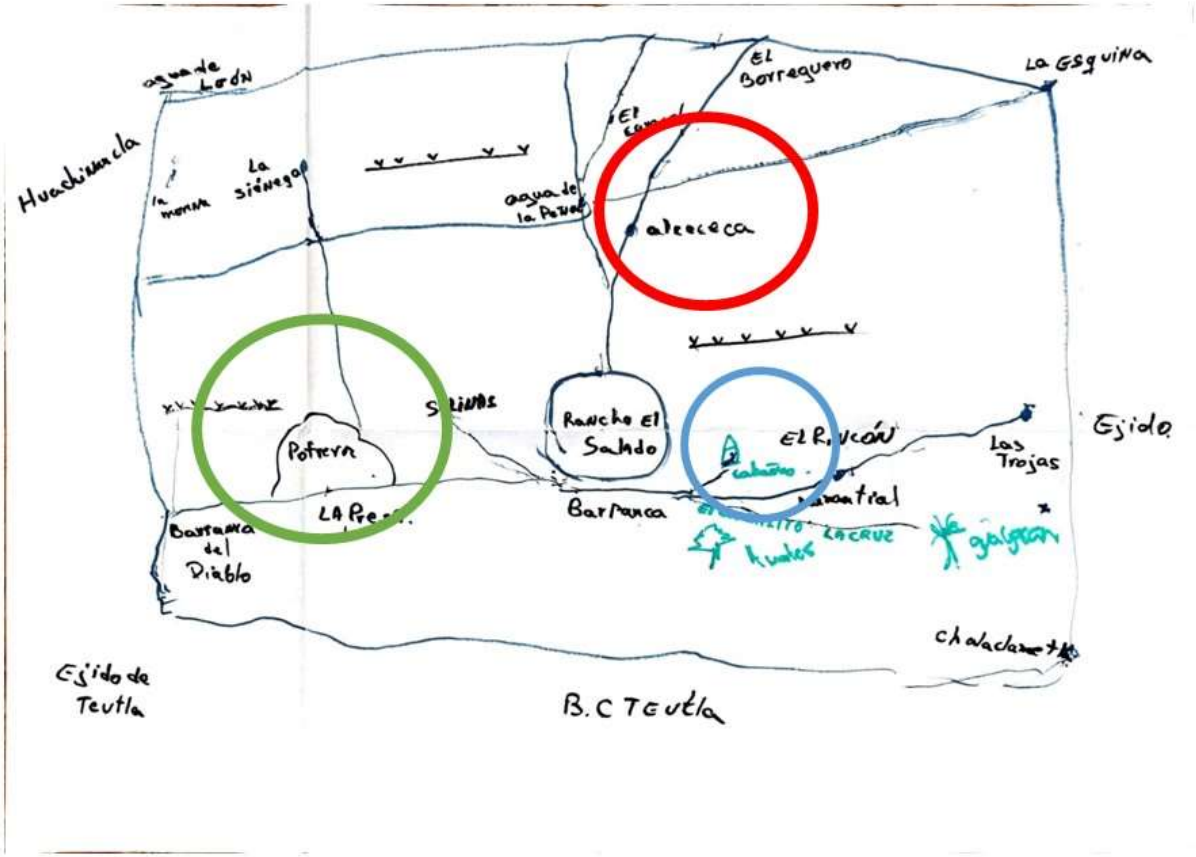


Figura 12. Polígono del Ejido Rancho El Salado representado por los ejidatarios locales. Se destacan los sitios en donde se llevó a cabo el trabajo de campo, siendo Alseseca marcado en rojo, Presa en verde y Cabañas en azul. Además de la disposición espacial, se destaca las actividades que se realizan en cada paraje como los potreros u las zonas de cultivo.

XI. CONCLUSIONES

Las implicaciones que tiene conocer la influencia de las características del hábitat sobre la diversidad en sus tres dimensiones tienen el potencial de dar información cada vez más detallada acerca de la conformación, estructura y prevalencia de las comunidades biológicas ante las amenazas propias del Antropoceno.

En este estudio particularmente, se destaca a la heterogeneidad como un mecanismo que tiene efectos notables en las comunidades de aves. Al ser un enfoque relativamente novedoso para las SBC de nuestro país, se le puede considerar un trabajo que puede sentar las bases para ampliar el conocimiento de la avifauna mexicana.

La heterogeneidad entendida como una cualidad de los ecosistemas que ocurre a diferentes escalas debe ser considerada al realizar análisis en el campo de la sinecología. En mi trabajo, concluimos que la heterogeneidad puede ocurrir a escalas finas y locales, ya que la variación en las condiciones de las parcelas utilizadas determinó la variación en la diversidad taxonómica, funcional y filogenética de las comunidades de aves descritas.

La SBC es un ecosistema único en el continente y con el que cada vez más se cuenta con menos extensión, es importante entonces conocer cuáles son las condiciones que se han visto más afectadas para conocer los retos que enfrenta y que enfrentará en el futuro inmediato.

La utilización de un enfoque mixto tomando en cuenta variables espaciales y variables asociadas al estrato arbóreo resultó ser importante, sin embargo, queda la puerta abierta para considerar algunas otras características cuantificables del hábitat, como la estratificación vertical de la vegetación. Con respecto a la diversidad de aves, es posible y necesario diversificar las metodologías implementadas para la obtención de datos en campo, como la utilización de métodos complementarios como las redes de niebla.

Adicionalmente es importante realizar en la localidad y en otras SBC del país, estudios de diversidad con triple enfoque, pero a diversas escalas, ya que la

complejidad de los sistemas biológicos ocurre a diferentes niveles y bajo la influencia de incontables mecanismos.

XII. LITERATURA CITADA

Anderle, M., Brambilla, M., Hilpold, A., Matabishi, J. G., Paniccia, C., Rocchini, D., Rossin, J., Tasser, E., Torresani, M., Tappeiner, U., & Seeber, J. (2023). Habitat heterogeneity promotes bird diversity in agricultural landscapes: Insights from remote sensing data. *Basic and Applied Ecology, 70*, 38-49. https://doi.org/10.1016/j.baae.2023.04.006

Audacity Team. (2023). Audacity (Version 3.6) [Computer software]. https://www.audacityteam.org/

Beason, R. D., Riesch, R., & Koricheva, J. (2023). Investigating the effects of tree species diversity and relative density on bird species richness with acoustic indices. *Ecological Indicators, 154*, 110652. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110652

Bełcik, M., Lenda, M., Amano, T., y Skórka, P. (2020). “Different response of the taxonomic, phylogenetic and functional diversity of birds to forest fragmentation,” *Scientific Reports*, 10(1). Disponible en : https://10.1038/s41598-020-76917-2. 379

Bibby, C. J., N. D. Burgess, D. A. Hill, S. Mustoe. (2000). Bird census techniques. 2ª edición. Academic Press. Reino Unido

Block, W. M., & Brennan, L. A. (1993). The habitat concept in ornithology: Theory and applications. In D. M. Power (Ed.), *Current ornithology* (Vol. 11, pp. 35-91). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9912-5_2

Cadotte, M. W., Albert, C. H., & Walker, S. C. (2013). The ecology of differences: Assessing community assembly with trait and evolutionary distances. *Ecology Letters, 16*(10), 1234-1244. https://doi.org/10.1111/ele.12161

Calamari, N., Vilella, F., Sica, Y., y Mercuri, P. (2018). Patch and landscape responses of bird abundance to fragmentation in agroecosystems of east-central Argentina. *Avian Conservation and Ecology*, *13*(2). doi: 10.5751/ace-01222-130203

Casanoves, F., Pla, L., Di Rienzo, J. A., & Díaz, S. (2011). *FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity*. Methods in Ecology and Evolution, 2(3), 233-237. https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00082.x

Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro*, CONABIO-UNAM, México.

Chao, A., Chiu, C. H., Villéger, S., Sun, I. F., Thorn, S., Lin, Y. C., Chiang, J. M., & Sherwin, W. B. (2021). *Measuring temporal change in alpha diversity: A framework integrating taxonomic, phylogenetic, and functional diversity and the iNEXT.3D standardization*. *Ecology Monographs, 91*(2), e01433.

Chao, A. y Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standarizing samples by completeness rather than size. Ecology. 93, 2533 – 2547.

Chocron, R., Flather, C. H., & Kadmon, R. (2015). Bird diversity and environmental heterogeneity in North America: a test of the area-heterogeneity trade-off. Global Ecology and Biogeography, 24(11), 1225–1235. doi:10.1111/geb.12353

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (n.d.). *Selvas secas*. Biodiversidad Mexicana. Recuperado el 30 de septiembre del 2022, desde https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca

Comisión Nacional del Agua. CONAGUA (n.d) Resumen Mensual de Lluvias y temperatura. Recuperado el 2 de diciembre del 2022 de: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias

Cooke, R. S. C., Bates, A. E., & Eigenbrod, F. (2019). Global trade-offs of functional redundancy and functional dispersion for birds and mammals. *Global Ecology and Biogeography, 28*(4), 484-495. https://doi.org/10.1111/geb.12869

Cottam, G., Curtis, J. T., & Hale, B. W. (1953). Some sampling characteristics of a population of randomly dispersed individuals. *Ecology, 34*(4), 741-757. https://doi.org/10.2307/1931337

Devictor, V., Mouillot, D., Meynard, C., Jiguet, F., Thuiller, W., y Mouquet, N. (2010). Spatial mismatch and congruence between taxonomic, Phylogenetic and functional diversity: The need for integrative conservation strategies in a Changing World. *Ecology Letters*. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01493.x

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M. A., Figueroa, V. E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., Koetz, T., ... & Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability, 14*, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.01.001

Dirzo, R., Young, H. S., Mooney, H. A., & Ceballos, G. (Eds.). (2011). *Seasonally dry tropical forests: Ecology and conservation*. Island Press. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7

Escalante P, Navarro-Sigüenza AG, Peterson AT. (1998). Un análisis geográfico, ecológico e histórico de la diversidad de las aves terrestres de México. En: Ramamoorthy TP, Bye R ,Lot A, Fa J (comps) Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F. pp. 279-304.

Escandón Calderón, J., Ordóñez Díaz, J. A. B., Nieto de Pascual Pola, M. C. del C., & Ordóñez Díaz, M. de J. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo

del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista mexicana de ciencias forestales, 9*(46), 27-53. https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135

Estades, C. F., & Temple, S. A. (1999). Deciduous-forest bird communities in a fragmented landscape dominated by exotic Pine Plantations. Ecological Applications, 9(2), 573–585. https://doi.org/10.1890/1051-0761(1999)009 [0573: dfbcia]2.0.co;2

Faith, D. P. (1992). Conservation evaluation and phylogenetic diversity. Biol. Conserv. 61, 1–10.

Frishkoff, L.O., Karp, D.S., M'Gonigle, L.K., Mendenhall, C.D., Zook, J., Kremen, C., Hadly, E.A., Daily, G.C., (2014). Loss of avian phylogenetic diversity in neotropical agricultural systems. Science. 345, 1343–1346. doi:10.7910/DVN/26910

Galland, T., Carmona, C. P., Götzenberger, L., Valencia, E., & de Bello, F. (2020). Are redundancy indices redundant? An evaluation based on parameterized simulations. *Ecological Indicators, 116*, 106488. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106488

García-Loza, V. (2016). Uso y Manejo Tradicional de los Recursos Vegetales en Comunidades de la Mixteca Poblana. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp

Gómez de Silva, H., & Medellín, R. A. (2001). Evaluating completeness of species lists for conservation and macroecology: a case study of Mexican land birds. Conservation Biology, 15(6), 1384–1395.

Gómez–Ortiz Y., y Moreno CE. (2017). La diversidad funcional en comunidades animales: una revisión que hace énfasis en los vertebrados. Animal Biodiversity and Conservation 40: 165-74

González-Oreja, J. A. (2003). Aplicación de Análisis Multivariantes al estudio de las relaciones entre las aves y sus hábitats: un ejemplo con paseriformes montanos no forestales. *Ardeola 50(1).* 47-58

González-Salazar, C. (2013). Base de datos de características ecológicas para aves y mamíferos presentes en México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto LE004. México. D.F.

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., Melbourne, B. A., Nicholls, A. O., Orrock, J. L., Song, D. X., & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's

ecosystems. *Science Advances, 1*(2), e1500052. https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052

Hashim, H., & Zain, A. M. (2016). Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (VHR) Pleiades imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B7*, 871-876. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B7-871-2016

Hilty, S. (2005). Birds of the tropical Americas: A watcher's introduction to behavior, breeding and diversity. University of Texas Press.

Howell, S. N. G. & Webb, S. (1995). A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press. USA. 851 pp

Hutto, R. L. (1985). Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds. In M. L. Cody (Ed.), *Habitat selection in birds* (pp. 455-476). Academic Press.

Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal. INAFED. (2022). Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Puebla. http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/index.html.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). Curvas de nivel para la República Mexicana. Recuperado el 15 de mayo del 2023 en: http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/cni250kgw.html

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2021). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional). Recuperado el 5 de octubre del 2022 en: http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). División Política, Estatal, Marco Geoestadístico. Recuperado el 5 de octubre del 2022 de: http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/dest22gw.html

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). División Política, Municipal, Marco Geoestadístico. ecuperado el 5 de octubre del 2022 de: http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/dest22gw.html

Escobar-Luján, J., Castaño-Quintero, S., Villalobos, F., Lira-Noriega, A., Chiappa-Carrara, X. y Yañez-Arenas, C. (2022). Current and future geographic patterns of bird diversity dimensions of the Yucatan Peninsula and their representativeness in natural protected areas, Neotropical Biodiversity, 8:1, 242-252, DOI: 10.1080/23766808.2022.2087282

Jetz, W., Thomas, G. H., Joy, J. B., Hartmann, K., & Mooers, A. O. (2012). The global diversity of birds in space and time. *Nature, 491*(7424), 444-448. https://doi.org/10.1038/nature11631

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

Karr, J. R. (1976). Seasonality, resource availability, and community diversity in tropical bird communities. *American Naturalist, 110*(976), 973-994. https://doi.org/10.1086/283119

Karr, J., y Roth, R. (1971). Vegetation Structure and Avian diversity in Several New World Areas. The American Naturalist 105(945). pp: 423-435

Kebrle, D., Hofmeister, J., Kodet, V., & Hošek, J. (2023). Key structural factors and their thresholds for promoting bird diversity in spruce-dominated production forests of central Europe. *Forest Ecology and Management, 540*, 121522. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121522

Kembel, S. W., Cowan, P. D., Helmus, M. R., Cornwell, W. K., Morlon, H., Ackerly, D. D., Blomberg, S. P., & Webb, C. O. (2010). Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics, 26*(11), 1463-1464. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq166

Kohn, A. J. (1967). Environmental complexity and species diversity in the gastropod genus *Conus* on Indo-west Pacific reef platforms. *American Naturalist, 101*(919), 251-259. https://doi.org/10.1086/282488

Liao, J., Liao, T., He, X., Zhang, T., Li, D., Luo, X., Wu, Y., & Ran, J. (2020). The effects of agricultural landscape composition and heterogeneity on bird diversity and community structure in the Chengdu Plain, China. *Global Ecology and Conservation, 24*, e01191. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01191

López-Téllez, M., Mandujano, S., y Yánes, G. (2007). Evaluación poblacional del venado cola blanca en un bosque tropical seco de la mixteca poblana. *ACTA ZOOLÓGICA MEXICANA (N.S.)*, *23*(3). doi: 10.21829/azm.2007.233581

Luck, G. W., Carter, A., & Smallbone, L. (2013). Changes in bird functional diversity across multiple land uses: Interpretations of functional redundancy depend on functional group identity. *PLOS ONE, 8*(5), e63671. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063671

MacArthur & MacArthur. (1961). MacArthur R, MacArthur J. On bird species diversity. Ecology. 1961;42(3):594–598. doi: 10.2307/1932254.

McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., & Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. Trends in Ecology and Evolution, 21(4), 178-185.

Maddison, W. P., & Maddison, D. R. (2023). Mesquite: A modular system for evolutionary analysis (Version 3.81) [Computer software]. http://www.mesquiteproject.org

Magurran, A. (2004). Measuring Biological Diversity. Blackwell Science: Oxford; UK

Malhi, Y. & Grace J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. Trends in Ecology and Evolution 15(8):332-337

Mitchell, K. (2007). Quantitative analysis by the point-centered quarter method. *Department of Mathematics and Computer Science, Hobart and William Smith Colleges*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1010.3303

Monnet, A C., Jiguet, F., Meynard, C. N., Mouillot, D., Mouquet, N., Thuiller, W., & Devictor, V. (2014). Asynchrony of taxonomic, functional and phylogenetic diversity in birds. Global Ecology Biogeography. 23(7):780-788.

Monroy, R., & Colín, H. (2004). *El guamúchil Pithecellobium dulce (Roxb.) Benth, un ejemplo de uso múltiple*. Madera y Bosques 10(1): 35-53

Morelli, F., Brlík, V., Benedetti, Y., Bussière, R., Moudrá, L., Reif, J., & Svitok, M. (2021). Detection rate of bird species and what it depends on: Tips for field surveys. *Frontiers in Ecology and Evolution, 9*, 671492. https://doi.org/10.3389/fevo.2021.671492

Morelli, F., Benedetti, Y., Ibáñez-Álamo, J. D., Jokimäki, J., Mänd, R., Tryjanowski, P., y Møller, A. P. (2016). Evidence of evolutionary homogenization of bird communities in urban environments across Europe. Global Ecology and Biogeography, 25(11), 1284–1293. doi:10.1111/geb.12486

Morelli, F., Benedetti, Y., Su, T., Zhou, B., Moravec, D., Šímová, P., y Liang, W. (2017). Taxonomic diversity, functional diversity and evolutionary uniqueness in bird communities of Beijing's urban parks: Effects of land use and vegetation structure. Urban Forestry & Urban Greening, 23, 84–92. doi:10.1016/j.ufug.2017.03.009

Mounir, M., Dakki, M., Douini, I., Benka, E.-M., Nouri, A., Mansouri, I., & Hammada, S. (2024). Large-Scale Monitoring of Bird Communities along an Altitudinal Gradient in Two Central High Atlas Valleys. Journal of Ecology and Environment, Article 8873008. https://doi.org/10.1155/2024/8873008

National Geographic Society. (1999). Field guide to the birds of North America. 3 th ed. National Geographic Society. Washington, D.C. 480 pp.

Nava-Díaz, R., Zuria, I., & Pineda-López, R. (2022). Taxonomic, phylogenetic and functional diversity of bird assemblages in urban green spaces: Null model analyses, temporal variation and ecological drivers. *Frontiers in Ecology and Evolution, 9*, 795913. https://doi.org/10.3389/fevo.2021.795913

Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., y Sánchez-González, L. A. (2014). *Biodiversidad de aves en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85, 476–495.* doi:10.7550/rmb.41882

Ortega-Baranda, V., Sánchez-Bernal, E. I., Sánchez-Aragón, L., Luis-Reyna, M. de los Á., & Ruvalcaba-Gómez, G. (2020). Vegetación arbórea de selvas bajas caducifolias en suelos litosoles y regosoles eutricos degradados. *Terra Latinoamericana, 38*(2), 377-392. https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.611

Pandey, N., Khanal, L., y Chalise, M. K. (2020). Correlates of avifaunal diversity along the elevational gradient of Mardi Himal in Annapurna Conservation Area, Central Nepal. Avian Research, 11(1). doi:10.1186/s40657-020-00217-6

Pérez G., E. A., J. A. Meave, J. L. Villaseñor, J. A. Gallardo C. & E. E. Lebrija T. (2010). Vegetation heterogeneity and life-strategy diversity in the flora of the heterogeneous landscape of Nizanda, Oaxaca, Mexico. Folia Geobotánica 45(2):143-161.

Petchey, O., y Gaston, K. (2002). Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters*, *5*(3), 402-411. doi: 10.1046/j.1461-0248.2002.00339.x

Petchey, O.L. & Gaston, K.J. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. Ecol. Lett., 9, 741–758

Pettorelli, N., Schulte to Bühne, H., Tulloch, A., Dubois, G., Macinnis-Ng, C., Queirós, A. M., Keith, D. A., Wegmann, M., Schrodt, F., Stellmes, M., Sonnenschein, R., Geller, G. N., Roy, S., Somers, B., Murray, N., Bland, L., Geijzendorffer, I., Kerr, J. T., Broszeit, S., Leitão, P. J., Duncan, C., El Serafy, G., He, K. S., Blanchard, J. L., Lucas, R., Mairota, P., Webb, T. J., & Nicholson, E. (2018). Satellite remote sensing of ecosystem functions: Opportunities, challenges and way forward. *Remote Sensing in Ecology and Conservation, 4*(2), 71-93. https://doi.org/10.1002/rse2.59

Pineda-López, R., Tepos-Ramírez, M., Acosta-Ramírez, A., Soto A., Ocaña-Feregrino, A. (2023). Elevational and seasonal changes in a bird assemblage within a mountain system in central Mexico. *Ornithol. Res.* **31**, 274–281. https://doi.org/10.1007/s43388-023-00151-3

QGIS Development Team. (2023). *QGIS Geographic Information System. Version 3.14*. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponible en http://qgis.org.

R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing (Version 4.4.0) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D. F. y Milá, B. (1994). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. United States Department of agriculture. Forest Service. Pacific Southwest Research Station. General technical report PSW-GRT-159-Web.

Ramírez-Albores, J. E. (2007). Bird diversity and conservation of Alto Balsas (Southwestern Puebla), Mexico. *Revista de Biología Tropical, 55*(1), 287-299. https://doi.org/10.15517/rbt.v55i1.55131

Ramírez-Albores, J. E., y Ramírez-Cedillo, M. G. (2002). Avifauna de la región oriente de la sierra de Huautla, Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 73*(1), 91-111. https://doi.org/10.22201/ib.2002.73.1.2655

Schoener, T. W. (1970). Nonsynchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology*, 51(3), 408-418. doi:10.2307/1935376

Şekercioğlu, C. (2002). Effects of forestry practices on vegetation structure and bird community of Kibale National Park, Uganda. *Biological*

Şekercioğlu, Ç. H., Wenny, D. G., & Whelan, C. J. (Eds.). (2016). *Why birds matter: Avian ecological functions and ecosystem services*. University of Chicago Press. https://doi.org/10.7208/chicago/9780226382777.001.0001

Šmilauer, P., & Lepš, J. (2012). *CANOCO 5: Software for multivariate data exploration, testing, and summarization*. Biometris.

Šmilauer, P., & Lepš, J. (2014). *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO 5*. Cambridge University Press.

Stein, A., Gerstner, K., & Kreft, H. (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters, 17*(7), 866-880. https://doi.org/10.1111/ele.12277

Stirnemann, I., Mortelliti, A., Gibbons, P., & Lindenmayer, D. B. (2015). Fine-scale habitat heterogeneity influences occupancy in terrestrial mammals in a temperate region of Australia. *PLOS ONE, 10*(9), e0138681. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138681

Tilman, D. (2001). Functional Diversity. Encyclopedia of Biodiversity, 3, 109-120. https://doi.org/10.1006/rwbd.1999.0154

Trejo Vázquez, I. (1999). El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investigaciones Geográficas*, *1*(39). doi: 10.14350/rig.59082

Trejo, I., & Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest. *Biological Conservation*, *94*(2), 133-142. doi: 10.1016/s0006-3207(99)00188

U.S. Geological Survey. (2024). Landsat 9 imagery [Data set]. U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.5066/F7N015TQ

Vázquez, L., Moya, H., y Arizmendi, M. (2009). Avifauna de la selva baja caducifolia en la cañada del río Sabino, Oaxaca, México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, *80*(002). doi: 10.22201/ib.20078706e.2009.002.626

Vázquez-Reyes, L. D., Arizmendi, M. del C., Godínez-Álvarez, H. O., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2017). Directional effects of biotic homogenization of bird communities in Mexican seasonal forests. *The Condor, 119*(2), 275-288. https://doi.org/10.1650/CONDOR-16-116.1

Vázquez-Reyes, L. D., Arizmendi, M. del C., Godínez-Álvarez, H. O., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2021). Directional effects of biotic homogenization of bird communities in Mexican seasonal forests. *Current Research in Environmental Sustainability, 3*, 100097. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100097

Villéger, S., Mason, N. W. H., y Mouillot, D. (2008). NEW MULTIDIMENSIONAL FUNCTIONAL DIVERSITY INDICES FOR A MULTIFACETED FRAMEWORK IN FUNCTIONAL ECOLOGY. *Ecology, 89(8), 2290–2301.* doi:10.1890/07-1206.1

Webb, C.O., Ackerly, D.D., McPeek, M.A. y Donoghue, M.J. (2002). Phylogenies and community ecology. Annu. Rev. Ecol. Syst., 33, 475–505.

Wecker, S. C. (1964). Habitat selection. *Scientific American, 211*(4), 109-116. https://doi.org/10.1038/scientificamerican1064-109

Zamora-Crescencio, P., Aragón-Gastélum, J. L., Vargas-Contreras, J. A., Barrientos-Medina, R. C., Aguirre-Crespo, F. J., Gutiérrez-Báez, C., & Plasencia-Vázquez, A. H. (2024). Diversidad, composición y estructura de especies leñosas de la selva baja caducifolia en Lerma, Campeche. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 11*(2), e3819. https://doi.org/10.19136/era.a11n2.3819

XIV. ANEXOS

I. LISTADO DE ESPECIES

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	SECAS	LLUVIAS
ANSERIFORMES	Anatidae	*Anas strepera*		x
GALLIFORMES	Cracidae	*Ortalis policephala*	x	
ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	*Accipiter cooperii*		x
ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	*Buteo plagiatus*	x	x
ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	*Buteo jamaicensis*	x	
COLUMBIFORMES	Columbidae	*Zenaida asiatica*	x	x
COLUMBIFORMES	Columbidae	*Zenaida macroura*		x
COLUMBIFORMES	Columbidae	*Columbina inca*	x	x
COLUMBIFORMES	Columbidae	*Columbina passerina*	x	x
COLUMBIFORMES	Columbidae	*Leptotila verrauxi*	x	x
COLUMBIFORMES	Columbidae	*Streptopelia decaocto*	x	x
CUCULIFORMES	Cuculidae	*Piaya cayana*		x
CUCULIFORMES	Cuculidae	*Crotophaga sulcirostris*		x
APODIFORMES	Trochilidae	*Lampornis clemenciae*	x	
CORACIIFORMES	Momotidae	*Momotus mexicanus*		x
PICIFORMES	Picidae	*Melanerpes hypopolius*	x	x
PICIFORMES	Picidae	*Melanerpes chrysogenis*	x	x
PICIFORMES	Picidae	*Dryobates scalaris*	x	x
FALCONIFORMES	Falconidae	*Falco sparverius*		x
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Camptostoma imberbe*	x	
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Empidonax minimus*	x	x
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Pyrocephalus rubinus*	x	
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Attila spadiceus*	x	
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Myiarchus cinerascens*		x
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Myiarchus tyrannulus*		x
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Pitangus sulphuratus*	x	x
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Myiozetetes similis*		x
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Tyrannus melancholicus*	x	x
PASSERIFORMES	Tyrannidae	*Tyrannus crassirostris*	x	x
PASSERIFORMES	Vireonidae	*Vireo bellii*		x
PASSERIFORMES	Corvidae	*Calocitta formosa*	x	x
PASSERIFORMES	Corvidae	*Corvus corax*		x
PASSERIFORMES	Hirundinidae	*Petrochelidon pyrrhonota*	x	
PASSERIFORMES	Troglodytidae	*Thryomanes bewickii*		x
PASSERIFORMES	Troglodytidae	*Pheugopedius felix*	x	x
PASSERIFORMES	Troglodytidae	*Thryophilus pleurostictus*		x
PASSERIFORMES	Polioptilidae	*Polioptila caerulea*		x
PASSERIFORMES	Mimidae	*Toxostoma curvirostre*	x	
PASSERIFORMES	Bombycillidae	*Bombycilla cedrorum*		x
PASSERIFORMES	Parulidae	*Parkesia noveboracensis*		x
PASSERIFORMES	Parulidae	*Oreothlypis luciae*		x
PASSERIFORMES	Parulidae	*Oreothlypis ruficapilla*		x
PASSERIFORMES	Parulidae	*Setophaga coronata*		x
PASSERIFORMES	Parulidae	*Icteria virens*	x	x
PASSERIFORMES	Parulidae	*Cardellina pusilla*		x

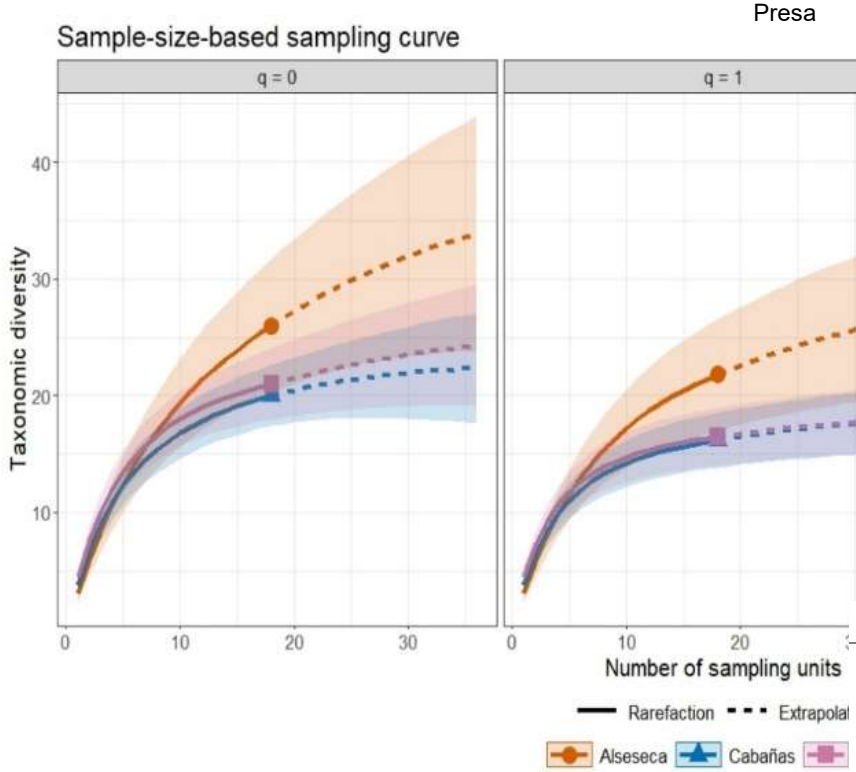
PASSERIFORMES	Emberizidae	*Volatinia jacarina*	x	
PASSERIFORMES	Emberizidae	*Peucaea humeralis*	x	
PASSERIFORMES	Cardinalidae	*Piranga rubra*		x
PASSERIFORMES	Cardinalidae	*Piranga ludoviciana*	x	x
PASSERIFORMES	Cardinalidae	*Pheucticus chrysopeplus*	x	
PASSERIFORMES	Icteridae	*Quiscalus mexicanus*	x	
PASSERIFORMES	Icteridae	*Molothrus aeneus*	x	
PASSERIFORMES	Icteridae	*Molothrus ater*		x
PASSERIFORMES	Icteridae	*Icterus pustulatus*	x	x
PASSERIFORMES	Icteridae	*Icterus waglieri*	x	x
PASSERIFORMES	Fringillidae	*Haemorhous mexicanus*	x	x
PASSERIFORMES	Fringillidae	*Spinus psaltria*	x	x
PASSERIFORMES	Passeridae	*Passer domesticus*	x	

II. CURVAS DE INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN PARA CADA DIMENSIÓN DE LA DIVERSIDAD Y CADA TEMPORADA

III.I DIVERSIDAD TAXONÓMICA

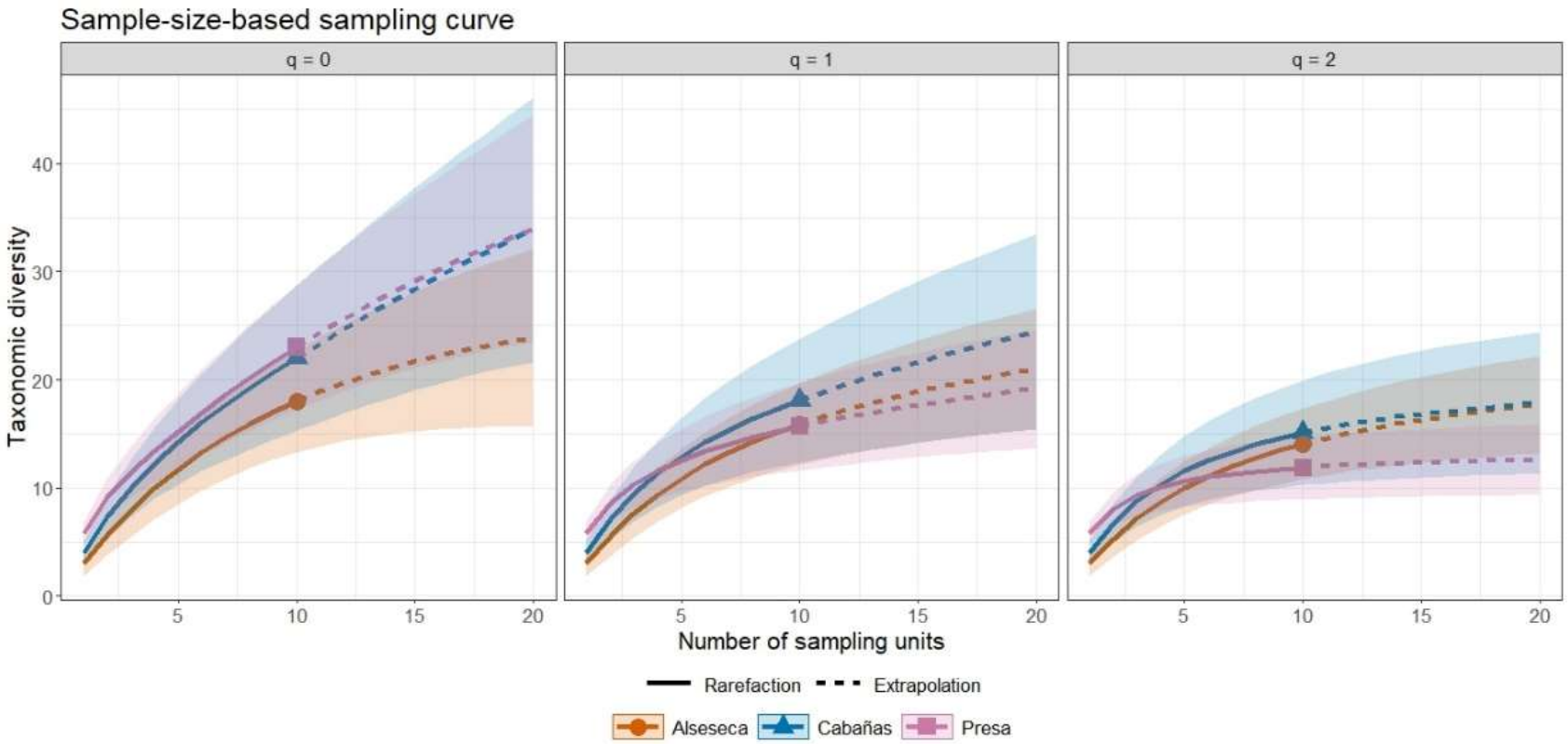
Secas

Paraje	*T*	*S.obs*	*SC(T)*	*SC(2T)*	*q=0*	*q=1*	*q=2*
Alseseca	18	26	0.795	0.9136	26	21.79	18.89
Cabañas	18	20	0.932	0.9866	20	16.19	13.92
Presa	18	21	0.940	0.9739	21	16.47	13.44



Paraje	*T*	*S.obs*	*SC(T)*	*SC(2T)*	*q=0*	*q=1*	*q=2*
Alseseca	10	18	0.70	0.751	18	15.88	14.06
Cabañas	10	22	0.660	0.895	22	18.06	15.09
Presa	10	23	0.769	0.855	23	15.68	11.84

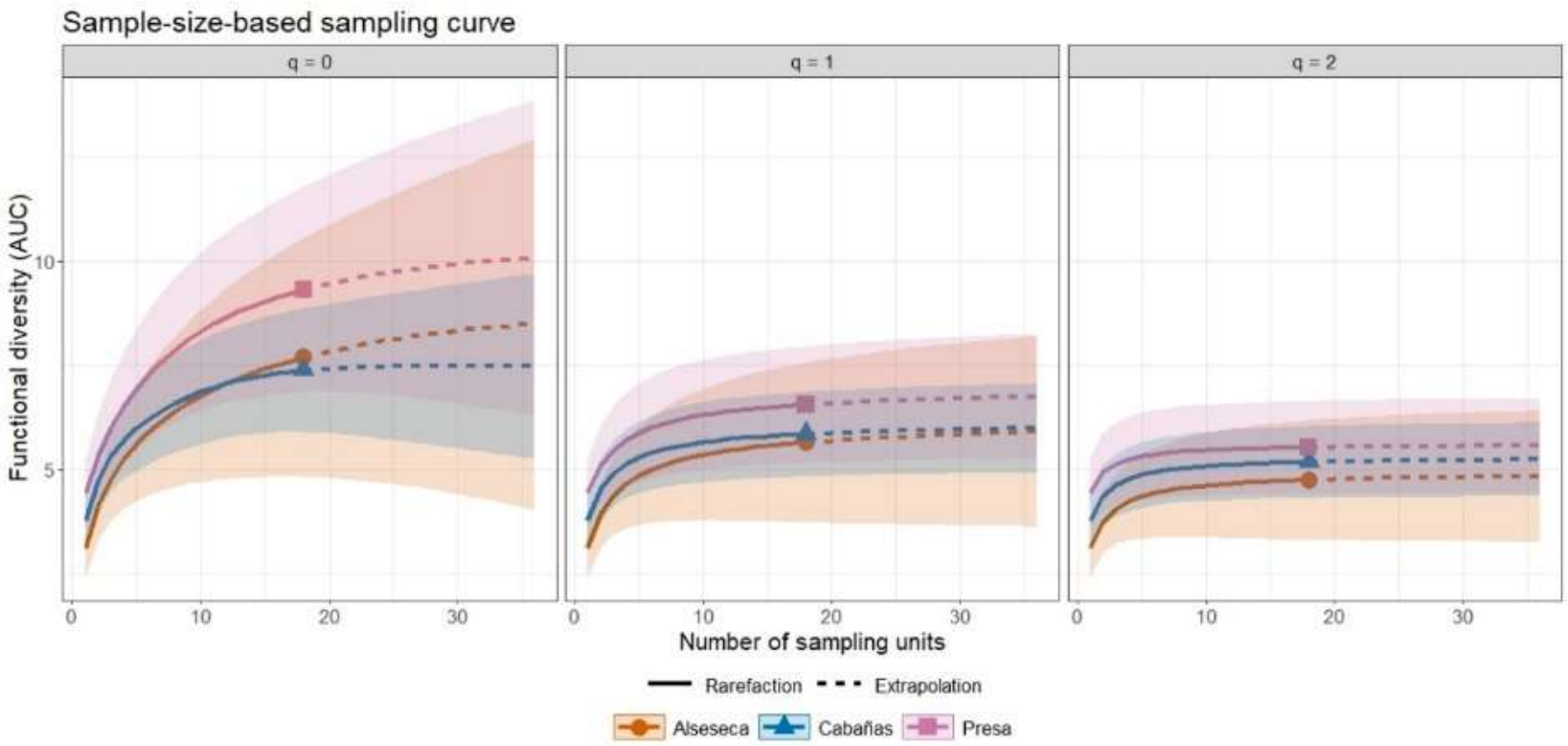
Lluvias


Sample-size-based sampling curve
q = 0
q = 1
q = 2
Taxonomic diversity
0
10
20
30
40
5
10
15
20
Number of sampling units
Rarefaction
Extrapolation
Alseseca
Cabañas
Presa

III.2 DIVERSIDAD FUNCIONAL

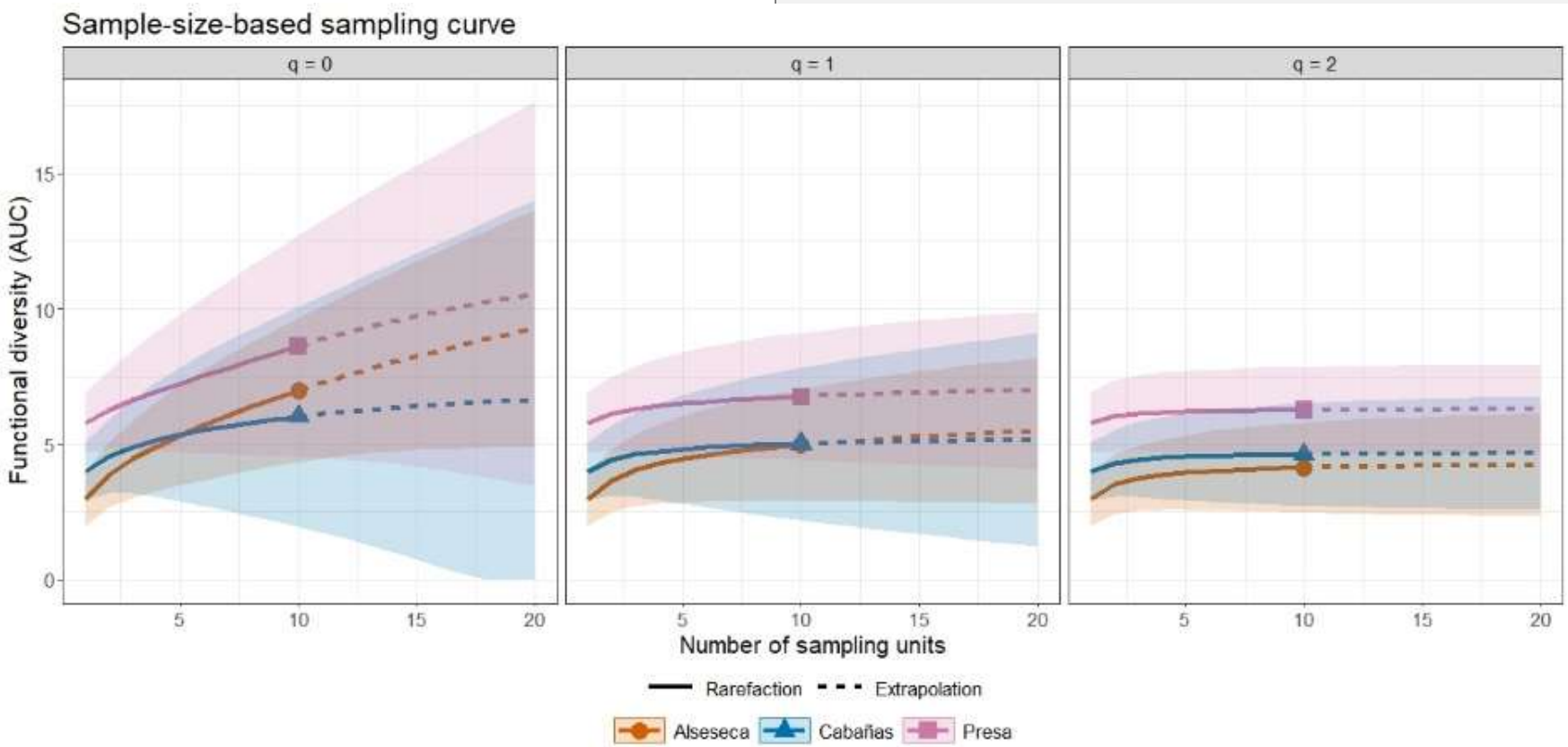
Secas

Paraje	*T*	*S.obs*	*SC(T)*	*SC(2T)*	*q=0*	*q=1*	*q=2*
Alseseca	18	20	0.795	0.9136	7.685	5.646	4.749
Cabañas	18	26	0.932	0.9866	7.379	5.848	5.174
Presa	18	21	0.940	0.9739	9.313	6.552	5.528



Lluvias

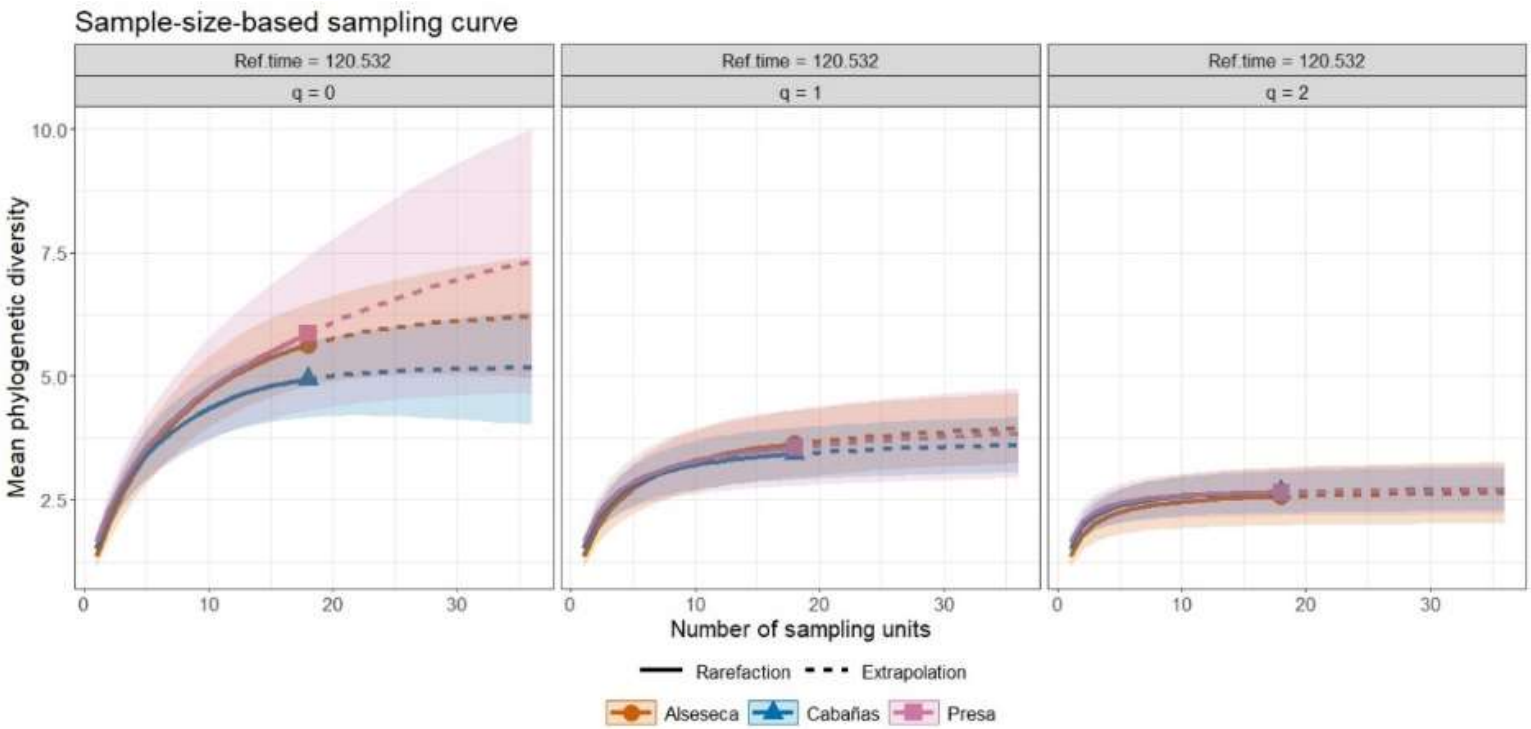
Paraje	*T*	*S.obs*	*SC(T)*	*SC(2T)*	*q=0*	*q=1*	*q=2*
Alseseca	10	18	0.70	0.751	6.996	4.973	4.137
Cabañas	10	22	0.660	0.895	6.023	5.015	4.624
Presa	10	23	0.769	0.855	8.627	6.759	6.258

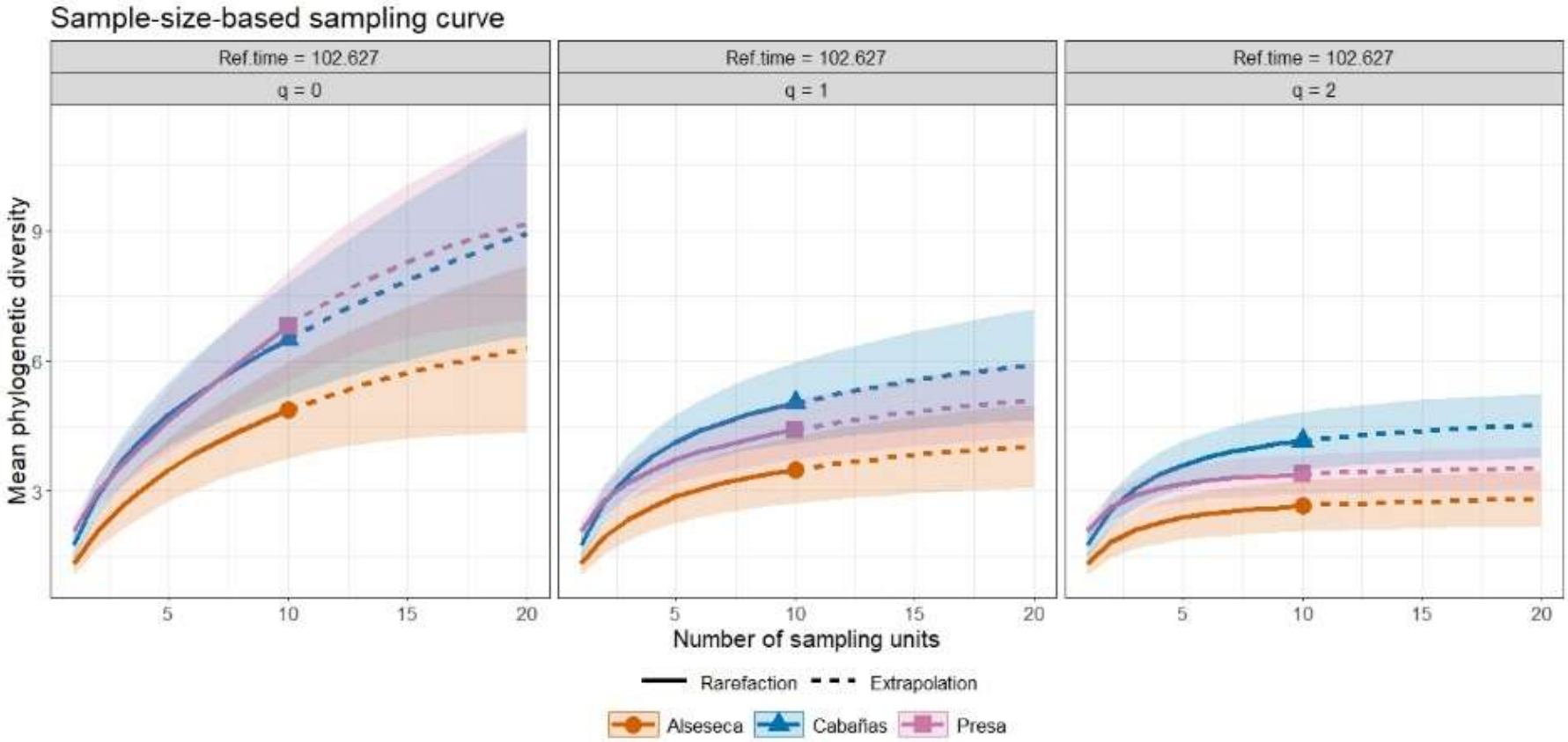


III.3 DIVERSIDAD FILOGENÉTICA

Secas

Paraje	*T*	*S.obs*	*SC(T)*	*SC(2T)*	*q=0*	*q=1*	*q=2*
Alseseca	18	20	0.796	0.914	5.632	3.629	1.949
Cabañas	18	26	0.933	0.987	4.942	3.425	2.649
Presa	18	21	0.940	0.974	5.862	3.556	2.650



Lluvias

Paraje	*T*	*S.obs*	*SC(T)*	*SC(2T)*	*q=0*	*q=1*	*q=2*
Alseseca	10	18	0.70	0.751	4.863	3.498	2.655
Cabañas	10	22	0.660	0.895	6.503	5.031	4.163
Presa	10	23	0.769	0.855	6.805	4.413	3.391