

Estructura y diversidad florística del área de influencia del embalse Topocoro en Santander,
Colombia.

Sergio Elias Mojica Parra

Trabajo de Grado para Optar al Título de Biólogo

Director

Andrés Felipe Castaño González

Ph. D. Biología Vegetal

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A mi abuela, Ofelia Gutiérrez, quien con sus consejos y recomendaciones me ha llevado por el camino de la academia y la superación.

A mi madre, María Elena Parra, quien con su compañía y apoyo emocional me permitió llegar cada vez más lejos sin importar las adversidades.

A mi padre, Elias Mojica, quien con su constante trabajo y aliento me permitió continuar con mis estudios.

A mis compañeros de la universidad, colegio y colegas, quienes, en la angustia, necesidad, y preocupación estuvieron presentes.

Agradecimientos

A ISAGEN S.A. E.S.P. por la financiación del proyecto denominado “MONITOREO DE FAUNA VERTEBRADA Y FLORA QUE SE REALIZA ALREDEDOR DEL EMBALSE TOPOCORO, EN LA FRANJA DE PROTECCIÓN Y MICROCUENCAS APORTANTES AL EMBALSE Y AL RÍO SOGAMOSO”, en el marco del cual se realizó la presente pasantía.

Al equipo botánico que me acompañó, instruyó y colaboró durante las salidas de campo.

A mis docentes de la escuela de biología, por sus constantes enseñanzas.

Al técnico del Herbario UIS, Pedro Cáceres, por sus constantes enseñanzas en el campo de la botánica.

Al director del Herbario UIS y tutor, Felipe Castaño, por depositar su confianza y encaminarme el estudio de la flora colombiana.

Al profesor, Víctor Hugo Serrano, por compartir sus conocimientos en el campo de ecología y su constante acompañamiento.

Al grupo de estudios en biodiversidad GEBIO por su acogida.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1. Objetivo General	13
1.2. Objetivos Específicos.....	13
2. Competencias	14
3. Metodología	15
3.1. Área de estudio.	15
3.2. Inventario de la vegetación.	15
3.3. Determinación taxonómica.	20
3.4. Análisis de datos	21
3.4.1. Estructura florística.....	21
3.4.2. Diversidad florística.....	21
4. Resultados	21
4.1. Estructura florística	22
4.1.1. Índice de valor de importancia por familias (IVI'F).....	22
4.1.2. Índice de valor de importancia por especies (IVI's).....	24
4.3. Diversidad florística.....	27
4.3.1. Escalamiento multidimensional no métrico (N-MDS).	27
4.3.2. Análisis de similitud (ANOSIM).	28
4.3.3. INext	28

5. Discusión.....	32
5.1. Estructura florística.....	33
5.1.1 Índice de valor de importancia por familias.	33
5.1.2 Índice de valor de importancia por especies.	33
5.2 Diversidad florística.....	34
6. Conclusiones.....	35
Referencias Bibliográficas.....	36

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Información general de las parcelas permanentes.</i>	18
Tabla 2. <i>ANOSIM, matriz de disimilitud.</i>	28
Tabla 3. <i>Resumen de resultados INext.</i>	28

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Esquema parcelas anidadas.</i>	16
Figura 2. <i>Mapa área de estudio y ubicación parcelas.</i>	16
Figura 3. <i>IVI'F parcelas zona de influencia del proyecto HidroSogamoso.</i>	22
Figura 4. <i>IVI'F parcelas aguas abajo del embalse Topocoro.</i>	23
Figura 5. <i>IVI'F parcelas zona de amortiguamiento embalse Topocoro.</i>	23
Figura 6. <i>IVI'F parcela permanente PA02.</i>	24
Figura 7. <i>IVI's parcelas zona de influencia del proyecto HidroSogamoso.</i>	24
Figura 8. <i>IVI's parcelas aguas abajo del embalse Topocoro.</i>	25
Figura 9. <i>IVI's parcelas zona de amortiguamiento embalse Topocoro.</i>	26
Figura 10. <i>IVI's parcela permanente PA02.</i>	26
Figura 11. <i>N-MDS.</i>	27
Figura 12. <i>Análisis INEXT parámetro $q=0$ (riqueza).</i>	29
Figura 13. <i>Análisis INEXT parámetro $q=1$ (Índice exponencial de Shannon).</i>	30
Figura 14. <i>Análisis INEXT parámetro $q=2$ (Índice inverso de Simpson).</i>	31

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice 1. Listado de especies organizado por familias.	42

Resumen

Título: Estructura y diversidad florística del área de influencia del embalse Topocoro en Santander, Colombia.*

Autor: Sergio Elias Mojica Parra**

Palabras Clave: Importancia Ecológica, bosque húmedo tropical, Parcela permanente, Sogamoso, Colombia.

Descripción: El bosque húmedo tropical (Bh-T) es un ecosistema que posee alta complejidad climática, geográfica y brinda muchos servicios ecosistémicos. En Colombia se encuentra ubicado principalmente en las regiones de la Amazonia, la Orinoquia y el Magdalena medio. En la actualidad se encuentra muy amenazado por la ampliación de la frontera ganadera entre otros eventos antrópicos. Con el fin de ampliar los conocimientos sobre este bioma se realizó el monitoreo florístico de 3.3 ha ubicadas en la zona de influencia del proyecto Hidrosogamoso mediante el montaje de parcelas permanentes, en las cuales se censaron 3268 individuos, de 50 familias y 214 especies distintas. se analizó la estructura florística a partir del índice de valor de importancia (IVI) por familias y especies, el cual se basa en las dominancias, abundancias y frecuencias absolutas como factor de importancia ecológica, dando como resultado a Fabaceae, Boraginaceae y Malvaceae como los grupos más relevantes en las coberturas muestreadas. Se calculó la diversidad alfa aplicando los números de Hill encontrando valores de diversidad altos y una alta equidad en la parcela permanente PA02 y la representatividad de muestreo mostró que los inventarios tuvieron una cobertura del 98 % para las unidades de muestreo ubicadas aguas abajo de la presa y las ubicadas en el embalse Topocoro. Igualmente, se encontró por lo menos 3 zonas que difieren entre sí, con lo cual se realizaron análisis específicos para comprender mejor su organización. Se propone aumentar los estudios de este tipo en la zona para así comprender mejor las dinámicas del Bh-T en Santander.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: Andrés Felipe Castaño González.
Ph. D. Biología Vegetal.

Abstract

Title: Structure and florists diversity of the area of influence of the Topocoro reservoir in Santander, Colombia.*

Author(s): Sergio Elias Mojica Parra **

Key Words: Ecological importance, tropical humid forest, permanent plot, Sogamoso, Colombia.

Description: The tropical rainforest (Bh-T) is an ecosystem with high climatic and geographic complexity which provides many ecosystem services. In Colombia it is located mainly in the Amazon, Orinoquia and Magdalena Medio regions. It is currently threatened by the expansion of the livestock frontier, among other anthropogenic events. In order to improve the knowledge about this biome, 3.3 ha located in the area of influence of the Hidrosogamoso project were floristically monitored by setting up permanent plots, from which 3268 individuals of 50 families and 214 different species were recorded. The floristic structure was analyzed using the importance value index (IVI) by families and species, which is based on dominances, abundances and absolute frequencies as a factor of ecological importance, resulting in Fabaceae, Boraginaceae and Malvaceae as the most relevant groups in the sampled vegetation. The alpha diversity was calculated by applying Hill's numbers, finding high diversity values and a high equity in the permanent plot PA02 and the sampling representativeness showed that the inventories had a coverage of 98% for the sampling units located downstream of the dam and those located in the Topocoro reservoir. It is proposed to increase studies of this type in the area to better understand the dynamics of Bh-T in Santander.

* Degree Work

** Science Faculty. School of Biology. Director: Andrés Felipe Castaño Gonzáles. Ph.D. Plant Biology.

Introducción

Los ecosistemas presentes en el neotrópico poseen una alta complejidad y variabilidad en cuanto a sus factores climáticos y geográficos, lo que los convierte en hábitats biodiversos y con una gran cantidad de servicios ecosistémicos (Yanoviak et al., 2007). Este es el caso del Bosque húmedo Tropical (Bh-T) el cual se caracteriza por una alta complejidad ecológica, diversidad y endemismo (Gentry, 1986, 1992, 1993; Phillips et al., 1994). En Colombia el Bh-T representa el 36,5 % de la cobertura total de bosques del país con una extensión aproximada de 415.000 km² (Etter A. 1993, 2017), el cual se encuentra concentrado principalmente en las regiones de la Amazonia, la Orinoquia, el Pacífico y los valles de los ríos Cauca, Magdalena y Sinú (Etter et al., 2017; Dueñas et al., 2007).

En la actualidad el Bh-T colombiano se ha visto reducido una tercera parte, constituyéndose como uno de los ecosistemas más vulnerables a las alteraciones antrópicas (Etter et al., 2006); siendo la ampliación de la frontera agrícola una de las principales afectaciones (Kattan, 1997; Linares et al., 2011). No obstante, en la región del Magdalena Medio en Santander el Bh-T se encuentra muy fragmentado y cubre pocas áreas, las cuales se encuentran ubicadas principalmente en las regiones biogeográficas Carare-Opón y Lebrija (Hernández et al., 1992).

Los estudios de estructura y diversidad florística permiten conocer el estado de conservación que presenta un ecosistema (Aguirre, 2020), así como entender las dinámicas ecológicas del paisaje (Pretzsch, 2010); lo cual permite a su vez realizar un uso más consciente y eficiente de los recursos naturales que estos poseen, sin llegar a entorpecer sus dinámicas naturales (Linares et al. 2011). En Santander, los estudios en este tipo de cobertura vegetal son escasos, sin excluir zonas afectadas por la construcción de mega obras civiles. La entidad ISAGEN S.A. E.S.P.

corresponde a una empresa privada cuya actividad comercial principal está enfocada en la generación y distribución de energía eléctrica, se posiciona como el tercer abastecedor de dicho recurso en Colombia, cuenta con más de 19 centros de generación en todo el territorio nacional de los cuales se destaca el proyecto HIDROSOGAMOSO con un área de inundación de aproximadamente 7000 Ha y un área total de ocupación de 10.500 Ha (Duarte et al. 2015; Roa, 2019). lo cual lo convierte en el 4º proyecto hidroeléctrico más importante del país con influencia en los municipios de Betulia, Zapatoca, Girón, Lebrija, Los Santos, San Vicente de Chucurí, Sábana de Torres, Puerto Wilches y Barrancabermeja.

En el marco de lo planteado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) al otorgar las concesiones que facilitan la adjudicación de los permisos de aprovechamiento, se plantea un marco de exigencias que corresponden a la reducción del impacto provocado, entre las que se incluyen desde planes de reforestación, hasta control y monitoreo de las condiciones de los ecosistemas aledaños mediante la ubicación de parcelas permanentes (Sarmiento et al. 2014). Es por esto, que el estudio y monitoreo de la vegetación natural asociada al área de influencia del embalse Topocoro es de particular relevancia, puesto que permite conocer el estado real de la flora y revelar a largo plazo si las estrategias de conservación empleadas están teniendo efecto positivo. Es así como a través de este estudio se plantea contribuir específicamente al conocimiento de dichos procesos en el área de influencia del embalse, y en general de la dinámica de la sucesión de la vegetación.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Contribuir al conocimiento de la vegetación del área de influencia del embalse Topocoro en el marco del Plan de Manejo Ambiental de la Central Hidroeléctrica Sogamoso, Santander - Colombia.

1.2. Objetivos Específicos

-Analizar los principales atributos estructurales de la vegetación, mediante el monitoreo de parcelas permanentes.

-Describir la diversidad florística utilizando índices estadísticos.

2. Competencias

Aplica los conceptos aprendidos a lo largo de la carrera académica, relacionados con el estudio de la vegetación

Describe la diversidad florística mediante el uso de software estadístico.

Instala y monitorea parcelas permanentes para el estudio de la vegetación.

Determina taxonómicamente muestras de plantas.

Construye una base de datos a partir de los parámetros estructurales de la vegetación.

3. Metodología

3.1. Área de estudio.

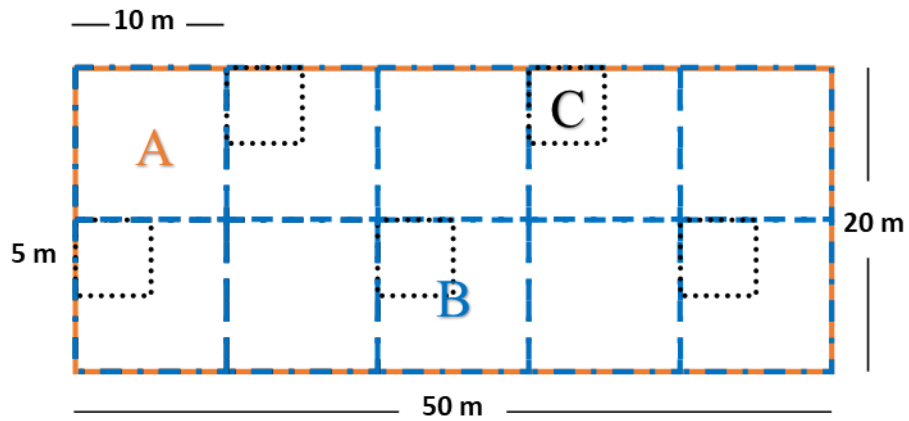
El presente estudio se realizó en el área de influencia del embalse Topocoro cuya altitud oscila entre los 80 a los 610 msnm, y se encuentra ubicada a lo largo de los siguientes municipios: Girón, Lebrija, Los Santos, Betulia, Zapatoca, San Vicente de Chucuri, Barrancabermeja, Sabana de Torres y Puerto Wilches (Figura 2). La precipitación anual promedio ronda los 2500 mm, y la temperatura promedio anual es de 25 a 26°C (ANLA, 2021).

3.2 Inventario de la vegetación.

La fase de campo se dividió en dos secciones; la primera se llevó a cabo en diciembre del 2022 y la segunda se realizó en el mes de febrero del 2023. Para el muestreo de la vegetación se utilizó la propuesta de parcelas permanentes anidadas mencionada por Pérez & Gutiérrez en 1996. Se monitorearon 32 parcelas y se montó una nueva identificada con código PA05 (Tabla 1). Estas abarcan 0.1 ha (50 x 20 m) e incluyen 10 subparcelas de 10 x 10 m, 5 de las cuales incluyen además cuadrantes de 5 x 5 m. Las parcelas anidadas (Figura 1) permiten registrar información de los árboles, al igual que otros hábitos de crecimiento como hierbas y arbustos o de diferentes categorías diamétricas como brinzales, latizales y fustales (Comiskey et al., 1999). De cada individuo se registraron datos como: ubicación con respecto a los vértices X y Y, diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles, altura total, altura fustal (alto de la primera ramificación) y dimensiones de la copa. Para la toma de los DAP el valor mínimo de los individuos a incluir cambia conforme a la subparcela o cuadrante a trabajar (parcela 50 x 20 m: $DAP > 10$ cm (A), subparcelas 10 x 10 m: $5 \leq DAP < 10$ que presenten una altura mayor a 3 metros y por último en los cuadrantes de 5 x 5 m (B), individuos con $1 < DAP < 5$ cm menores de 3 m (C)).

Figura 1.

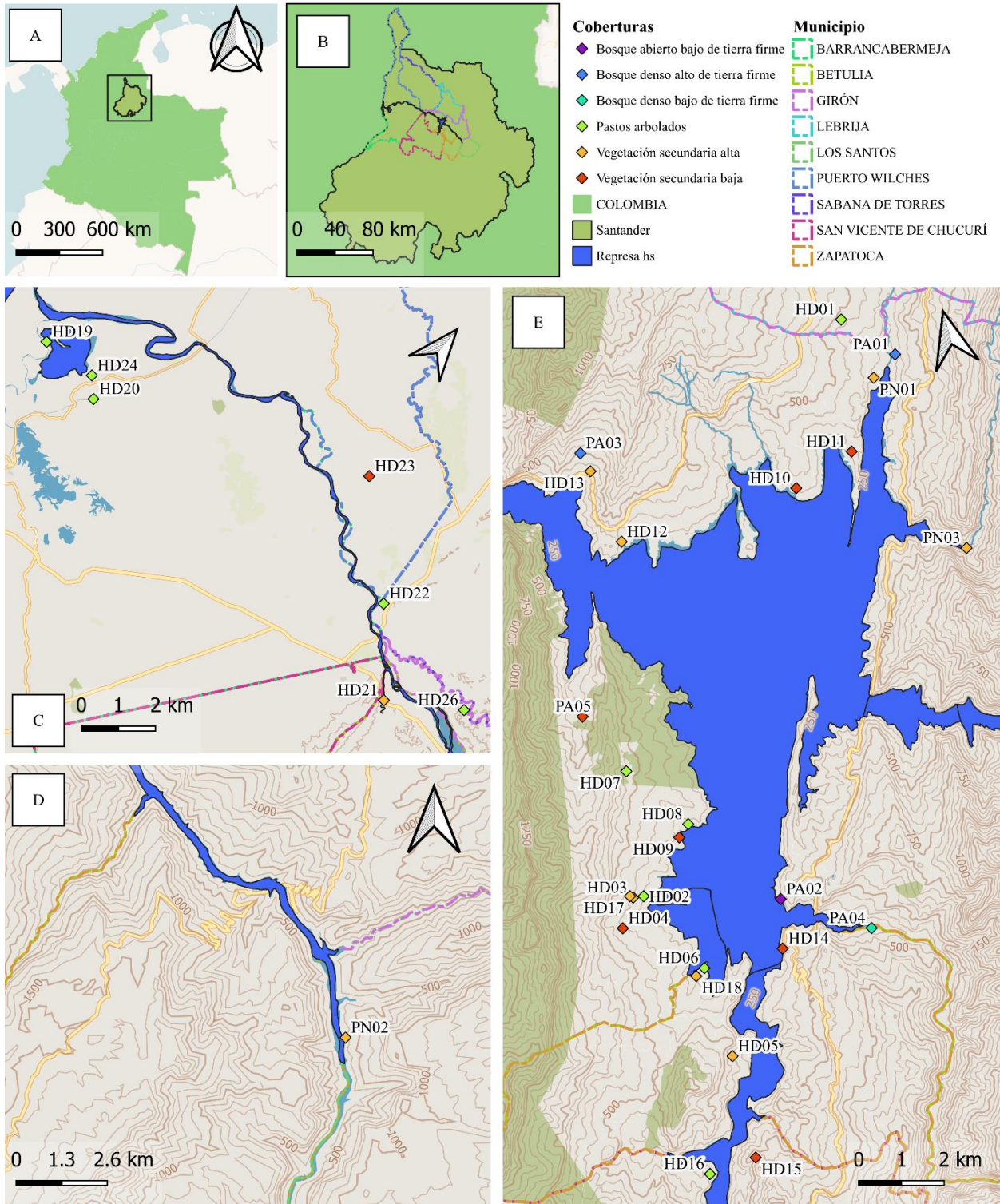
Esquema parcelas anidadas.



Nota. Esta figura representa gráficamente las longitudes de las parcelas anidadas. A. Parcelas 50 X 20 cm, B. Parcelas 10 X 10 cm, C. Parcelas 1 X 1 cm.

Figura 2.

Mapa área de estudio y ubicación parcelas.



A. Mapa Político Colombia, B. ampliación mapa Santander con delimitación de municipios en los cuales influye el embalse Topocoro, C. Parcelas aguas debajo de la presa, D. Parcela Llanadas, E. Parcelas Hidrosogamoso y fuentes.

Tabla 1.

Información general de las parcelas permanentes.

Parcela	Municipio	Vereda	Altura (msnm)	Tipo de Cobertura	Lat (Y)	Lon(X)
HD01	Lebrija	La Renta	510	Pastos arbolados	7.1186867	-73.3254317
HD02	Betulia	Sogamoso	351	Pastos arbolados	7.0116177	-73.397498
HD03	Betulia	Sogamoso	386	Vegetación secundaria alta	7.0119167	-73.3997222
HD04	Betulia	25 de agosto	400	Vegetación secundaria baja	7.0061944	-73.4035278
HD05	Zapatoca	Belmonte	390	Vegetación secundaria alta	6.974048	-73.388048
HD06	Zapatoca	Belmonte	338	Pastos arbolados	6.993598	-73.3889675
HD07	Betulia	Sogamoso	545	Pastos arbolados	7.0381209	-73.3941891
HD08	Betulia	Sogamoso	317	Pastos arbolados	7.0239167	-73.3843889
HD09	Betulia	Sogamoso	330	Vegetación secundaria baja	7.0216729	-73.3869846
HD10	Girón	Sogamoso	376	Vegetación secundaria baja	7.0866944	-73.3438889
HD11	Girón	Sogamoso	381	Vegetación secundaria baja	7.0911116	-73.3305538

HD12	Girón	Sogamoso	353	Vegetación secundaria alta	7.0852864	-73.3825985
HD13	Girón	Marta	366	Vegetación secundaria alta	7.1014167	-73.3850833
HD14	Zapatoca	La Plazuela	341	Vegetación secundaria baja	6.9932778	-73.3719167
HD15	San Vicente de Chucuri	Los Medios	342	Vegetación secundaria baja	6.9520426	-73.3888667
HD16	San Vicente de Chucuri	Canta Rana	314	Pastos arbolados	6.9511434	-73.3991104
HD17	Betulia	Sogamoso	412	Vegetación secundaria alta	7.0123719	-73.4002747
HD18	Zapatoca	Belmonte	343	Vegetación secundaria alta	6.9924051	-73.3911094
HD19	Barrancabermeja	Llanito Bajo	80	Pastos arbolados	7.1712506	-73.8776641
HD20	Barrancabermeja	Llanito Alto	86	Pastos arbolados	7.161245	-73.8243178
HD21	Girón	Vizcaína	149	Vegetación secundaria alta	7.1291049	-73.5199157
HD22	Sabana de Torres	San Rafael de Payoa	114	Pastos arbolados	7.1831572	-73.565356
HD23	Puerto Wilches	Cayumba	114	Vegetación secundaria baja	7.2478336	-73.6334741
HD24	Barrancabermeja	Llanito Bajo	132	Pastos arbolados	7.1736851	-73.8363853
HD26	Girón	Marta	151	Pastos arbolados	7.1612956	-73.4702673
PN01	Girón	Marta	516	Vegetación secundaria alta	7.105001	-73.321978

PN02	Zapatoca	La Plazuela	367	Vegetación secundaria alta	6.8622608	-73.167833
PN03	Betulia	Altamira	610	Vegetación secundaria alta	7.0651019	-73.3123144
PA01	Betulia	Sogamoso	340	Bosque denso alto de tierra firme	7.1086233	-73.3163263
PA02	Los Santos	Llanadas	360	Bosque abierto bajo de tierra firme	7.0035264	-73.3695933
PA03	Girón	La Parroquia	334	Bosque denso alto de tierra firme	7.1056667	-73.3861667
PA04	Girón	La Parroquia	331	Bosque denso bajo de tierra firme	6.9926111	-73.3525556
PA05	Betulia	El Ramo	333	Vegetación secundaria baja	7.051681	-73.4001399

Nota. Está tabla muestra atributos relevantes sobre las parcelas y su ubicación.

3.3 Determinación taxonómica.

Para la determinación taxonómica se partió de determinaciones previas realizadas en monitoreos anteriores, y solo en caso de ser necesario se tomaron muestras para ser comparadas con especímenes de la colección de referencia del Herbario UIS. Así mismo, se utilizaron claves taxonómicas (Gentry 1993) y bases de datos como ColPlantA (2023), y el Catálogo de Plantas de Colombia (Bernal et al., 2019) para confirmar la identidad taxonómica de los individuos, así como la nomenclatura y ortografía de los nombres científicos.

3.4 Análisis de datos

Los datos levantados en campo se ubicaron en una base de datos en formato *Comma Separated Values* (.CSV) con la ayuda del programa de software de hojas de cálculo *Microsoft Excel* (v 18.0), siguiendo los patrones de entrada de datos de la *Geographical Database* (GDB) presentado por la ANLA. El archivo .CSV se cargó en el programa de licencia libre *Open-refine* (v 3.7.4) para su correcto ordenamiento y depuración (SiB Colombia, 2019).

3.4.1. Estructura florística

El análisis de la estructura vegetal se realizó mediante el uso del índice de valor de importancia por familias (IVIF) y por especies (IVIS), para esto fue necesario calcular los parámetros relativos de abundancia, dominancia y frecuencia (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

3.4.2. Diversidad florística

El cálculo de diversidad Alpha se realizó en el programa en línea iNEXT (Chao et al., 2016), el cual efectúa los cálculos de diversidad mediante el uso de los números de Hill (Chiu et al., 2014), este análisis ejecuta el cálculo del número efectivo de especies de orden 1 (q_1). Así mismo, para cada una de las zonas definidas se computó la completitud del inventario haciendo uso del análisis de la cobertura de muestreo (SC) y se realizó la visualización de la curva de acumulación de especies a través del orden 0 (q_0) (Chao, A. & Jost, L. 2012; Cordero et al., 2022). Para definir zonas del muestreo diferenciales se realizó un Escalamiento multidimensional no métrico (N-MDS) bajo la técnica de disimilitud Bray-Curtis (Kruskal 1964) lo que se corroboró luego con el análisis de similitud (ANOSIM).

4. Resultados

En total se registraron 3268 individuos, de 50 familias y 214 especies distintas.

4.1. Estructura florística

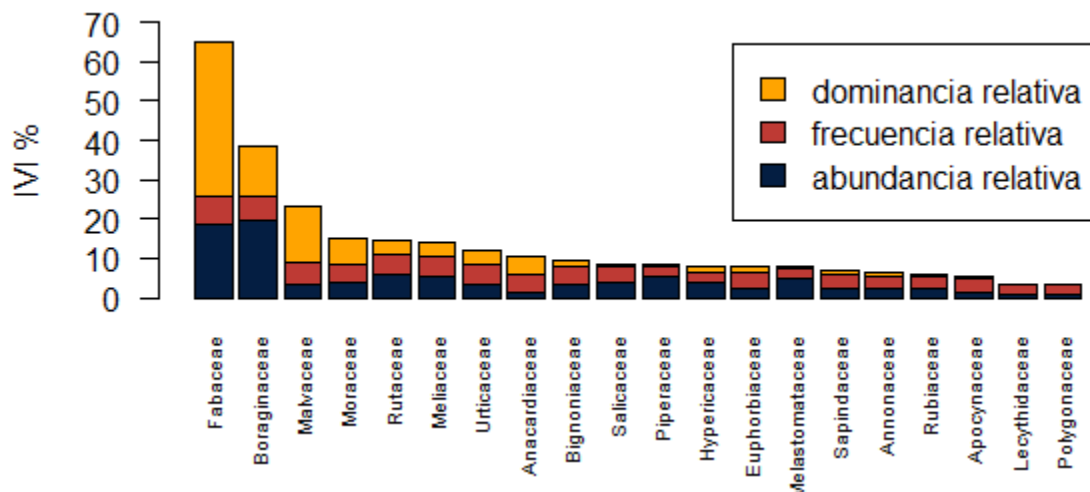
Los resultados de la estructura florística a través de los IVI por familias y especies se presentan primero de manera general para todas las parcelas y luego se dividen por zonas con el fin de entender mejor las dinámicas en los sectores que más marcaron diferencias en su composición de especies.

4.1.1. Índice de valor de importancia por familias (IVI_F)

Las 5 familias de mayor importancia ecológica en orden descendente fueron Fabaceae (65.13 %), Boraginaceae (38.37 %), Malvaceae (23.15 %), Moraceae (14.95 %) y Rutaceae (14.41). (Figura 3).

Figura 3.

IVI_F parcelas zona de influencia del proyecto HidroSogamoso.

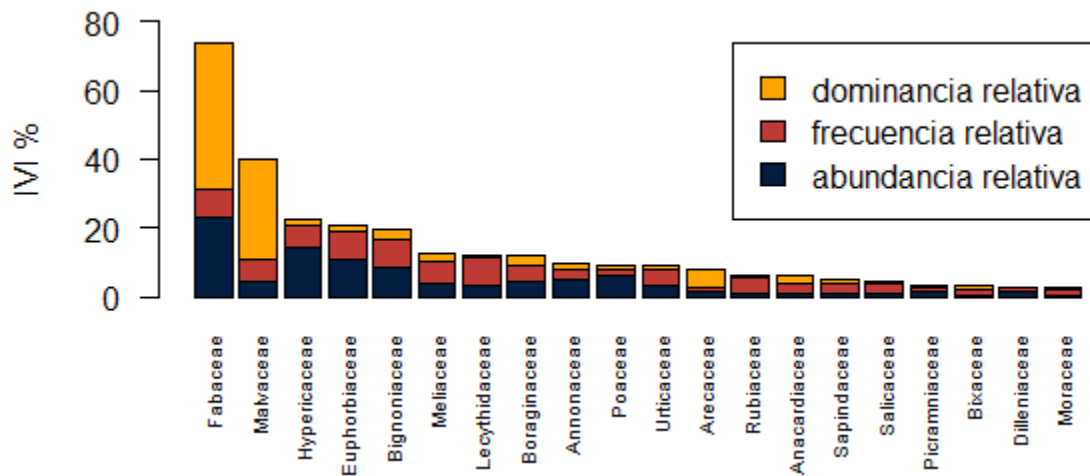


4.1.1.1. IVI_F parcelas aguas abajo embalse Topocoro.

Las 5 familias que más destacan a nivel ecológico en orden decreciente son Fabaceae (73.69 %), Malvaceae (40.18 %) e Hypericaceae (22.38 %) (Figura 4).

Figura 4.

IVI F parcelas aguas abajo del embalse Topocoro.

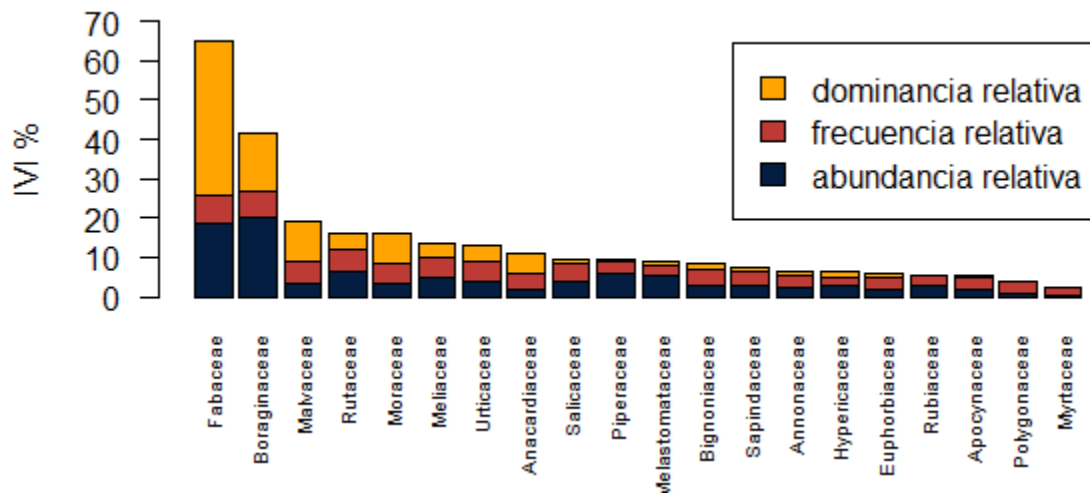


4.1.1.2. IVI F parcelas embalse Topocoro.

Las 3 familias que más destacan en el índice ecológico son Fabaceae (65.01 %), Boraginaceae (41.46 %) y Malvaceae (19.27 %) (Figura 5).

Figura 5.

IVI F parcelas zona de amortiguamiento embalse Topocoro.

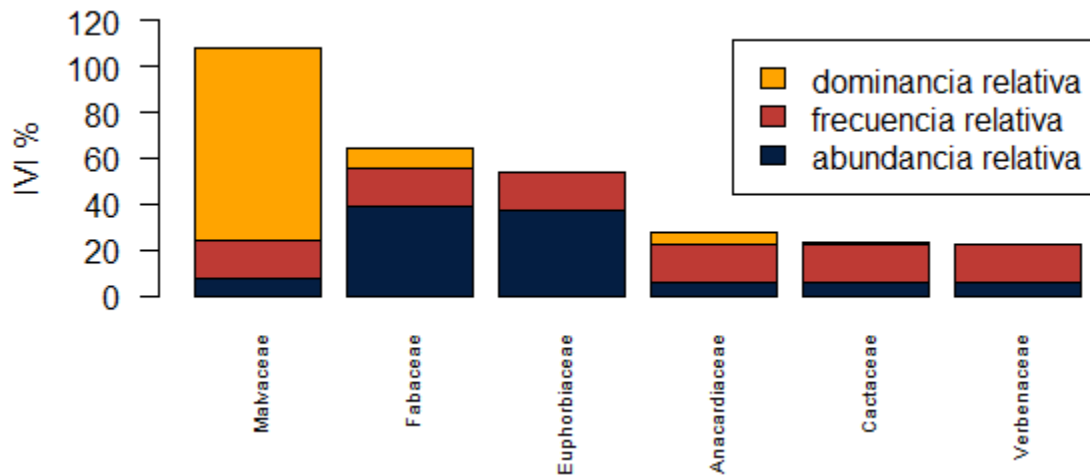


4.1.1.3. IVI F Parcela Lanadas, Los Santos.

En esta parcela se encontró que las 3 familias más importantes a nivel ecológico son, Malvaceae (108.09 %), Fabaceae (64.56 %) y Euphorbiaceae (53.97 %) (Figura 6).

Figura 6.

IVI F parcela permanente PA02.

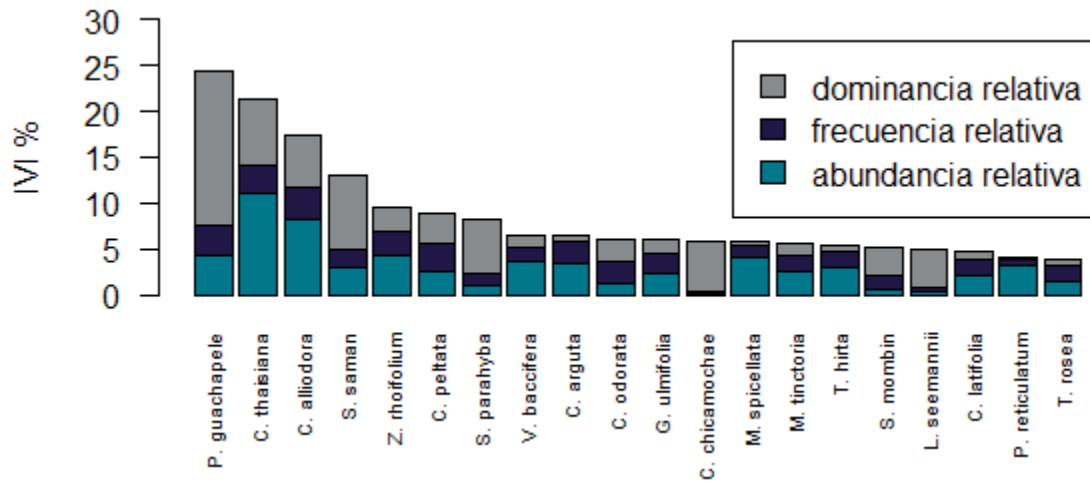


4.1.2. Índice de valor de importancia por especies (IVI's)

Las 5 especies más importantes para la totalidad de las parcelas muestreadas son, *Pseudosamanea guachapele* (24.34 %), *Cordia thaisiana* (21.26 %), *Cordia alliodora* (17.27 %), *Samanea saman* (12.98 %) y *Zanthoxylum rhoifolium* (9.62 %) (Figura 7).

Figura 7.

IVI's parcelas zona de influencia del proyecto HidroSogamoso.

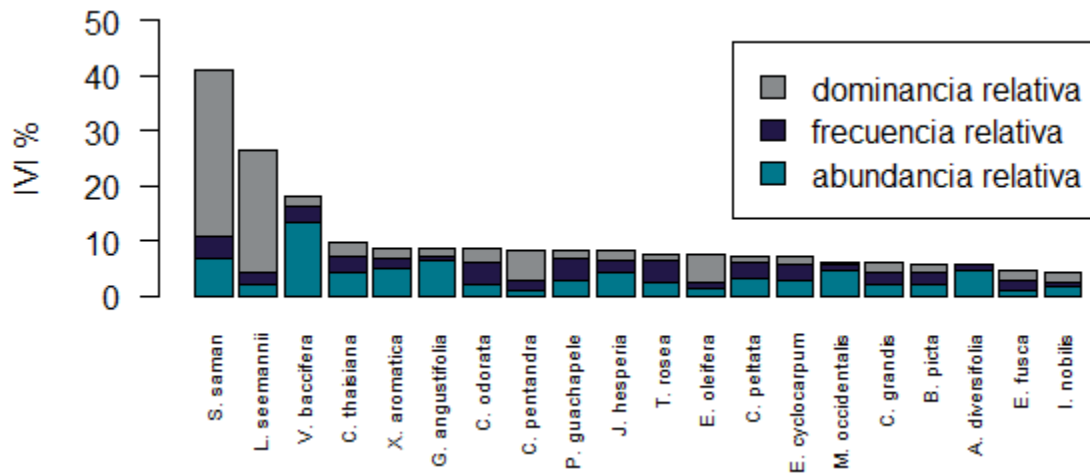


4.2.2.1. IVI's parcelas aguas abajo embalse Topocoro.

Las 3 especies con mayor importancia a nivel ecológico para esta zona son, *Samanea saman* (40.88 %), *Luehea seemannii* (26.43 %) y *Vismia baccifera* (17.88 %)(Figura 8).

Figura 8.

IVI's parcelas aguas abajo del embalse Topocoro.

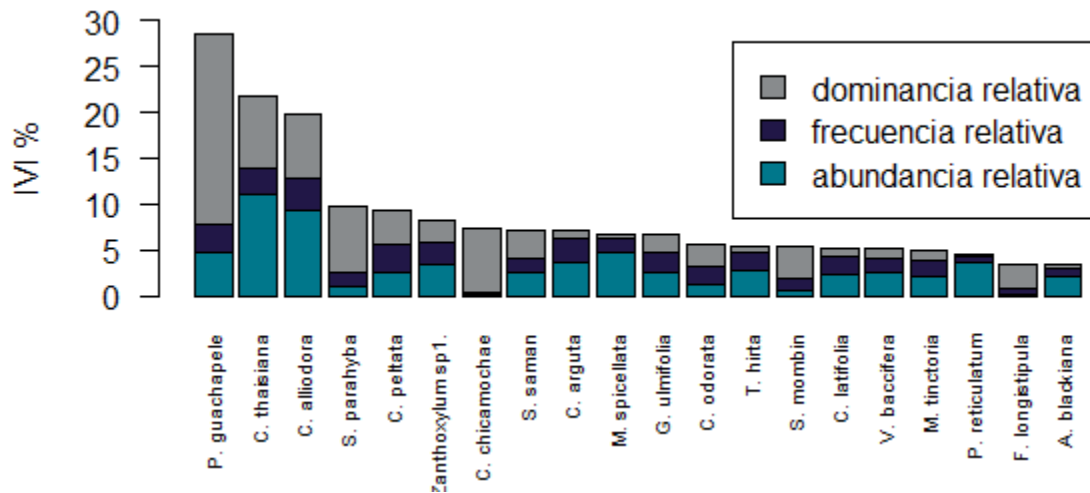


4.2.2.2. IVI's parcelas embalse Topocoro.

En esta zona las 3 especies más importantes a nivel ecológico son, *Pseudosamanea guachapele* (28.41 %), *Cordia thaisiana* (21.79 %) y *Cordia alliodora* (19.89) (Figura 9).

Figura 9.

IVI's parcelas zona de amortiguamiento embalse Topocoro.

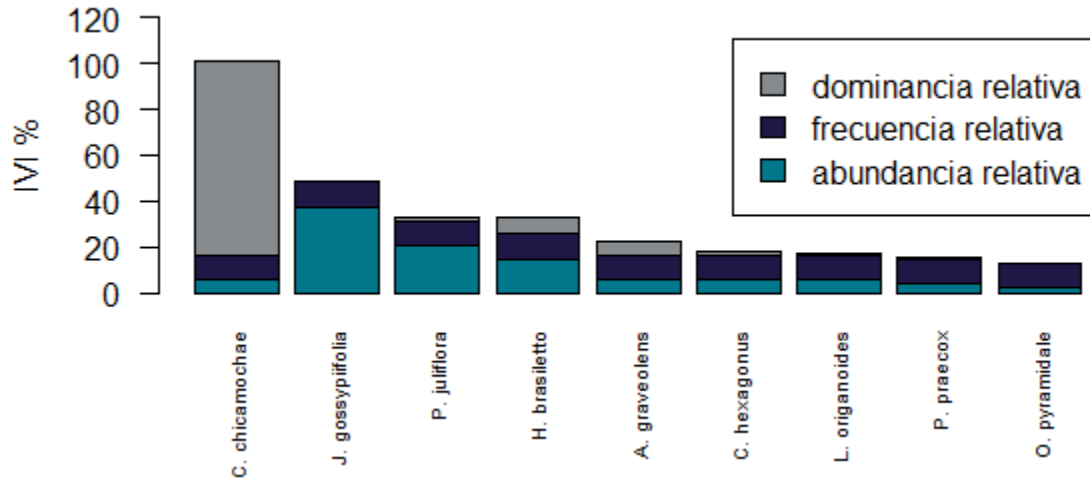


4.2.2.3. IVI's Parcela Lanadas, Los Santos.

Para esta parcela las 3 especies más importantes a nivel ecológico son, *Cavanillesia chicamochae* (100.65%), *Jatropha gossypifolia* (48.41 %) y *Prosopis juliflora* (32.98 %) (Figura 10).

Figura 10.

IVI's parcela permanente PA02.

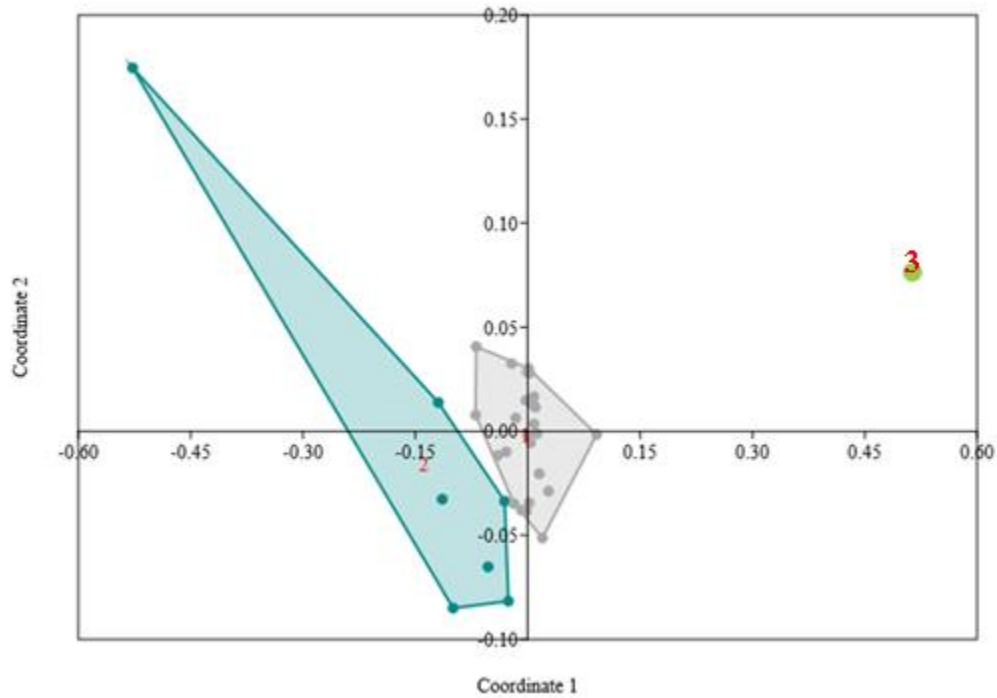


4.3 Diversidad florística

4.3.1. Escalamiento multidimensional no métrico (N-MDS).

Figura 11.

N-MDS.



Nota. Los grupos corresponden a: parcelas embalse Topocoro (1; PET), parcelas aguas abajo del embalse Topocoro (2; PAA) y parcela permanente PA02 (3; PPL).

4.3.2. Análisis de similitud (ANOSIM).

El análisis se realizó mediante el índice de disimilitud Bray-Curtis, el cual indicó diferencias significativas entre PAA, PET y PPL con un valor $P=0.0001$.

Tabla 2.

ANOSIM, matriz de disimilitud.

	1	2	3
1		0.0003	0.0036
2	0.0003		0.0239
3	0.0036	0.0239	

Nota. Los números corresponden a los 3 grupos encontrados, 1 (parcelas embalse Topocoro), 2 (parcelas aguas abajo del embalse Topocoro) y 3 (parcela permanente PA02).

4.3.3. INext

Para el análisis INext se configuro el punto final a 3500, 40 nodos y se definió un intervalo de confianza de 0.98.

Tabla 3.

Resumen de resultados INext.

Conjunto	SC	m	Método	Orden q	qD	qD.LCL	qD.UCL
PET	0.979	2894	Observado	0	192	171.58	212.42
PAA	0.941	323	Observado	0	65	54.24	75.76
PPL	0.983	57	Observado	0	10	6.63	13.37
PET	0.979	2894	Observado	1	53.22	50.73	55.72
PAA	0.941	323	Observado	1	36.32	32.17	40.47
PPL	0.983	57	Observado	1	6.85	5.04	8.65
PET	0.979	2894	Observado	2	25.61	23.81	27.41
PAA	0.941	323	Observado	2	22.71	19.11	26.32
PPL	0.983	57	Observado	2	5.12	3.54	6.7

Nota. SC = la cobertura de muestra estimada para una muestra de tamaño m; m = tamaño de la muestra para las estimaciones de diversidad de orden q; Método = Rarefacción, Observado o Extrapolación; Orden.q = el orden de diversidad de q; qD = la diversidad estimada del orden q para una muestra con tamaño m; qD.LCL, qD.UCL = los límites de confianza inferior y superior del bootstrap para la diversidad del orden q (0,95).

Figura 12.

Análisis INEXT parámetro $q=0$ (riqueza).

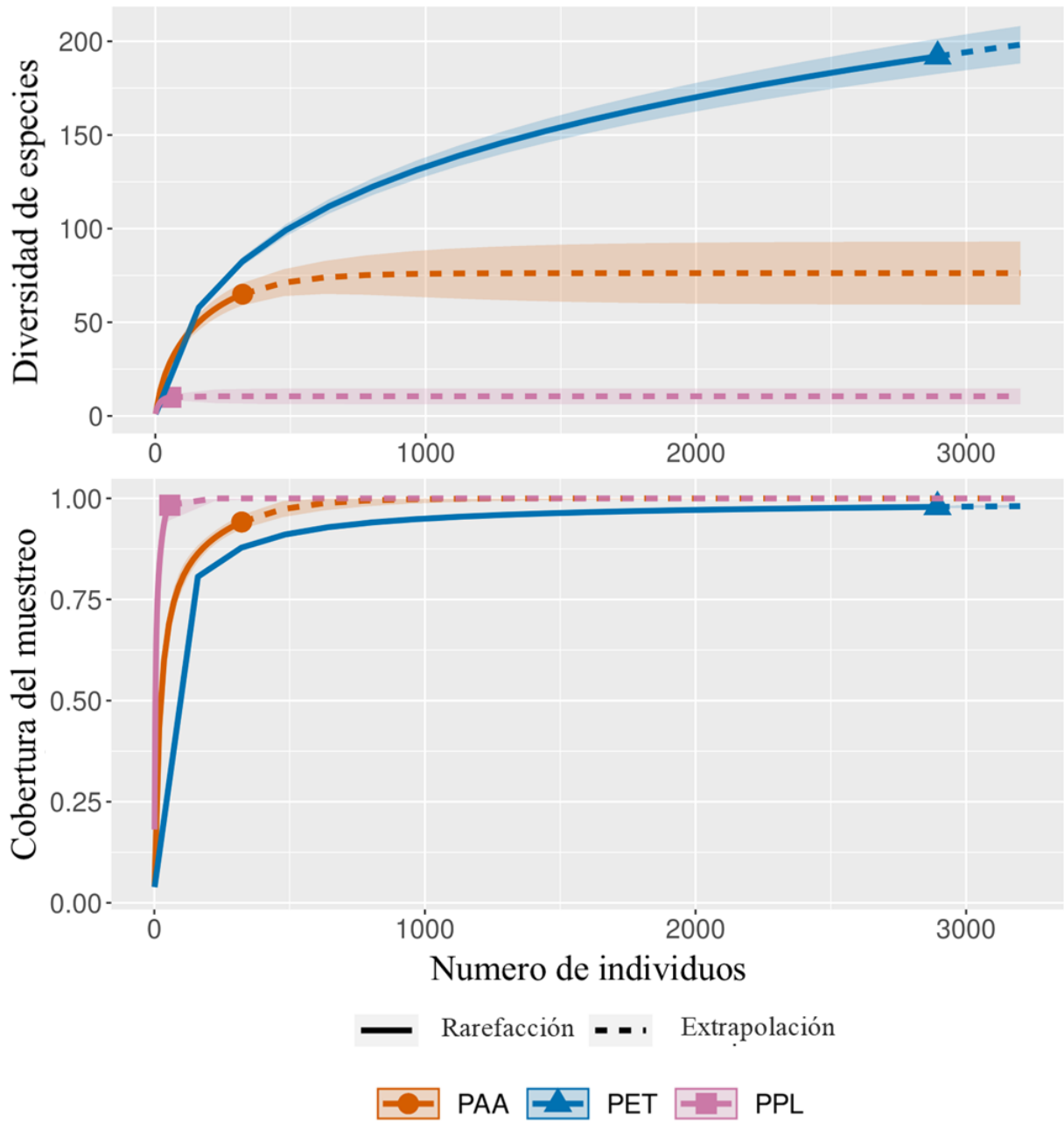


Figura 13.

Análisis INEXT parámetro $q=1$ (Índice exponencial de Shannon).

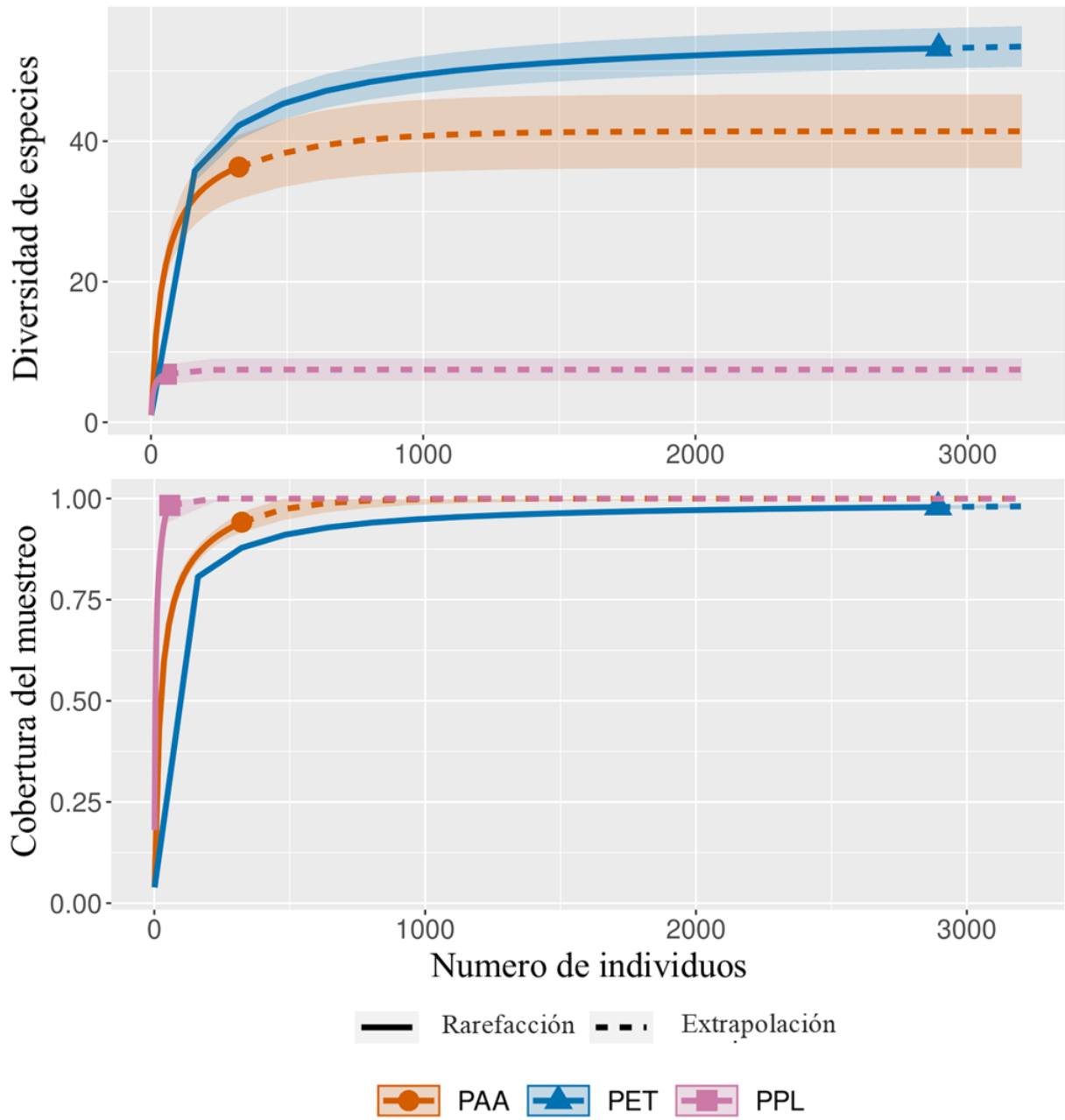
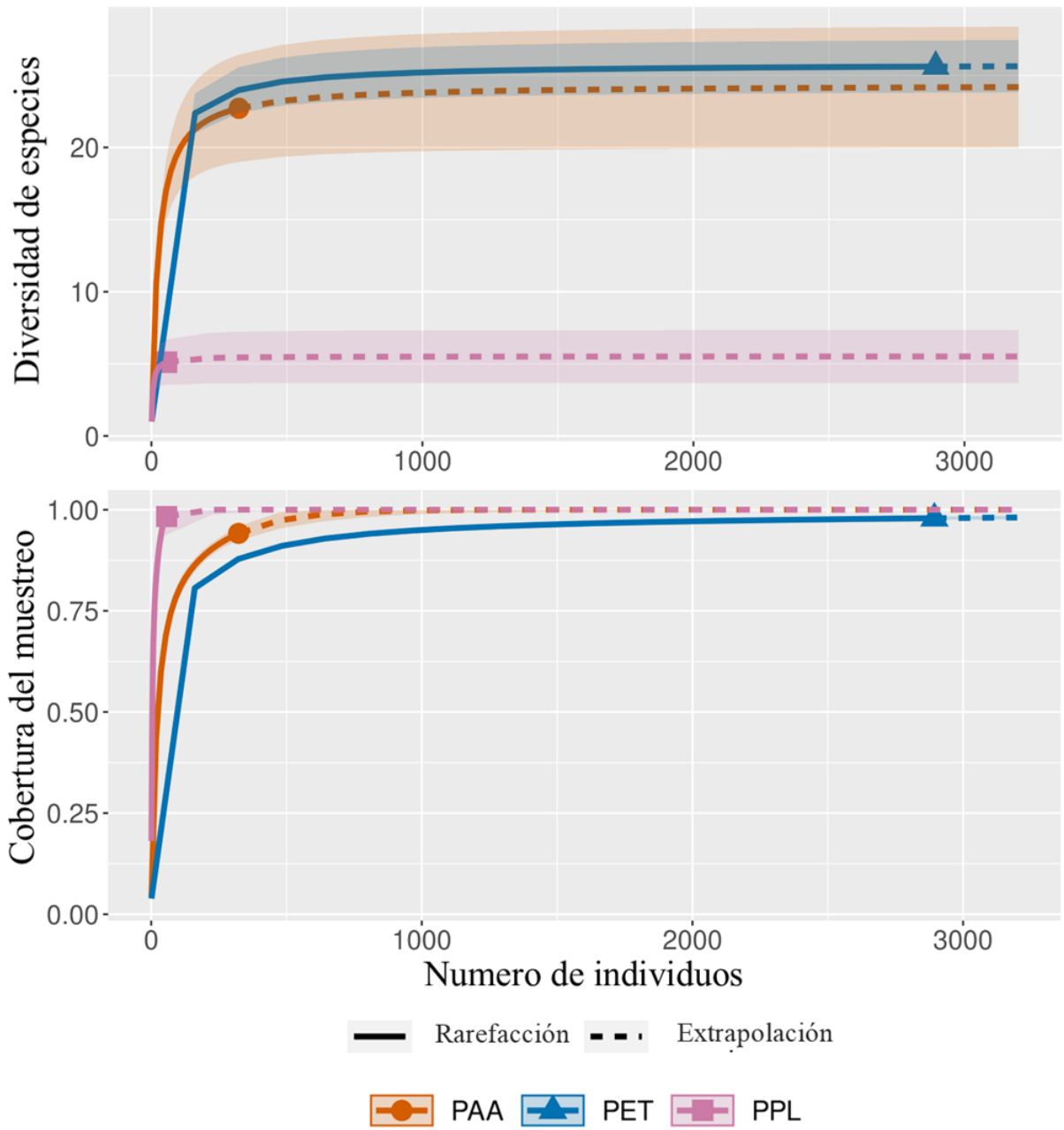


Figura 14.

Análisis INEXT parámetro $q=2$ (Índice inverso de Simpson).



5. Discusión

En las coberturas de bosques estudiadas en el marco del proyecto se presentaron variaciones, lo cual puede estar sustentado en la distancia de ubicación de las parcelas que hacen

variar sus condiciones ambientales o en el caso de las parcelas aguas debajo del embalse Topocoro por la intervención antrópica que llegasen a presentar (Ballesteros et al., 2019).

5.1. Estructura florística

5.1.1 Índice de valor de importancia por familias.

Para la totalidad de las parcelas muestreadas Fabaceae fue la familia con mayor importancia ecológica esto lo cual se correlaciona en distintos estudios del Bh-T (Pedraza J. y Molina L. 2007; Padilla et al., 2017; Mena-Mosquera et al., 2020; Iburguen et al., 2023), Boraginaceae, Malvaceae, Moraceae y Rutaceae también presentaron valores destacables en cuanto a su IVI'F lo que es consistente con otros estudios que posicionan a estas familias como las de mayor relevancia ecológica (Cerón C., 2003; Ballesteros et al., 2019) (Figura 4). Esta tendencia en la importancia ecológica de las familias se mantiene en los análisis individuales (Figura 5, 6 y 7) al tratarse de árboles de mediano y alto porte lo cual está relacionado a estadios succionales intermedios y tardíos (Olascuaga et al., 2016).

5.1.2 Índice de valor de importancia por especies.

En el índice de valor de importancia ecológica general por especies (IVI's) *Pseudosamanea guachapele* se posiciona como la más importante, esta es conocida por ser una especie con amplia distribución con usos frecuentes en sistemas silvopastoriles ya que son individuos de alto porte, lo cual explica sus valores de dominancia (Cordero y Bolaños, 2007; Camargo et al., 2005). Otros grupos taxonómicos que presentaron porcentajes de IVI's destacables fueron: *Cordia thaisiana*, *Cordia alliodora*, *Samanea saman* y *Zanthoxylum rhoifolium*. Estos árboles presentan características similares en cuanto a sus distribuciones y usos, siendo el uso como especies para la extracción de madera, reforestación y sistemas agroforestales los más frecuentes debido a su

crecimiento relativamente rápido y fijado de nutrientes (Montagnini y Nair, 2004; Camargo et al., 2005; Rincon, E., 2009; Calle et al., 2013).

5.2 Diversidad florística

El análisis N-MDS de una vía evidenció la división de los grupos de parcelas propuestos parcelas embalse Topocoro (1), parcelas aguas abajo (2) y parcela permanente PA02 (3). Este resultado se corrobora con el ANOSIM.

En cuanto al análisis con el cual se calcularon los índices de diversidad alfa destaca que en el parámetro $q=0$ (riqueza) la cobertura del muestreo reportado es buena en las parcelas aguas abajo (PPL) y parcelas embalse Topocoro (PET) con valores de 98 % para cada una de ellas, en el caso de las parcelas permanentes ubicadas aguas debajo del embalse (PAA) esta fue de tan solo 94.1 % si bien este es bueno, indica que se requiere aumentar el esfuerzo de muestreo en esta zona. En cuanto a la riqueza de especies en las zonas el valor estimado por el intervalo de confianza superior y el total se encuentra cercanos lo que indica buena representatividad en el muestreo (Moreno et al., 2011; Mijango et al., 2020).

El índice exponencial de Shannon ($q=1$) se logra evidenciar que las parcelas ubicadas en las agrupaciones propuestas se aproximan al número efectivo de especies, llegando a tener valores de diversidad cercanos al límite de confianza superior (Moreno et al., 2011). Para el índice inverso de Simpson ($q=2$) revelo números de diversidad cercanos máximo dado por los límites de confianza en las 3 zonas. La diversidad en PET y PAA fue inusualmente alta en comparación con PPL, en el caso de PET estos se pueden explicar en su gran número de especies y la equitatividad que ellas presentan; PAA al presentar ligeros problemas con respecto a la cobertura de muestro no arrojara resultados un tanto elevados sobre estas parcelas, además de esto, su equitatividad es alta

ya que presenta un gran número de especies con abundancias similares (Chao y Shen, 2003; Moreno et al., 2011).

6. Conclusiones

El comportamiento de la estructura florística en el presente estudio a través del índice de valor de importancia evidencia un estado sucesional intermedio teniendo en cuenta las 5 familias y especies destacadas.

En la zona muestreada se logró identificar 3 regiones separadas entre sí que presentan variaciones.

Los altos valores de diversidad reflejan una alta equitatividad en los puntos muestreados, lo que se reafirma con el índice ecológico (IVI's).

Referencias Bibliográficas

- Aguirre-Calderón, O. A. (2020). Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 27(92), 5–27. Recuperado a partir de <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/900>
- Pedraza-Álvarez, J., y Molina-Portuguez, L. (2007). Diversidad y caraterización florística de la vegetación en el centro experimental Santa Lucía, Magdalena Medio, Colombia. *Colombia forestal*, 10(20), 241–249. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2007.1.a13>
- ANLA. (2021). Reporte de análisis regional de la cuenca del río Sogamoso y cuenca Afluentes directos río Lebrija Medio (mi) – NSS. Bogotá. 96 p.
- Ballesteros-Correa, Jesús, Morelo-García, Luís, & Pérez-Torres, Jairo. (2019). Composición y estructura vegetal de fragmentos de bosque seco tropical en paisajes de ganadería extensiva bajo manejo silvopastoril y convencional en Córdoba, Colombia. *Caldasia*, 41(1), 224-234. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71320>
- Bernal, R., Gradstein, S. R. & Celis, M. (eds.). (2019). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Calle, Z., Murgueitio, E, Chará J, Molina, C. H., Zuluaga,, A. F., Calle, A. 2013. A strategy for scaling-up intensive silvopastoral systems in Colombia. *J Sustain Forestry*. 32(7):677–693. doi:10.1080/10549811.2013.817338.

Camargo

- García, J., Feijoo, A., Zuñiga, Maria-C., Cardona, H. & Gaviria, J. (2005). Silvopastoral systems with isolated timber trees within pastures in the Coffee region of Colombia. *Livestock Research for Rural Development*. 17.
- Cerón, C. (2003). Composición y estructura de una hectárea de bosque aluvial en la Reserva Biológica Limoncocha. *Cinchonia*, 4(1), 35-46.
- Chao, A. y T. J. Shen. 2003. Nonparametric estimation of Shannon's index of diversity when there are unseen species in sample. *Environmental and Ecological Statistics* 10:429–433. doi:10.1023/A:1026096204727
- Chao, A. & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing simple by completeness rather than size. *Ecology*, 93, 325-331.
- Chao, A., Gotelli, N., Hsieh, T. C., Sander, E., & Ma, K., Colwell, R. & Ellison, A. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*. 84. 45-67. 10.1890/13-0133.1.
- Chao, A., Ma, K. H., & Hsieh, T. C. (2016) iNEXT Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inextonline/.
- Chiu, Chun-H., Chao A, Vogel, S., Kriegel, P. & Thorn Simon (2023) Quantifying and estimating ecological network diversity based on incomplete sampling data *Phil. Trans. R. Soc.* B3782022018320220183 <http://doi.org/10.1098/rstb.2022.0183>.
- ColPlantA (2023). "Useful Plants of Colombia. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <https://colplanta.org/Retrieved 27 June 2023.>"

- Comiskey, J., Dallmeier, J. y Mistry, S. (1999). Protocolo de muestreo de vegetación para la Selva Maya. Pp. 18-27. En: A. Carr & A. C. de Stoll (eds.). Monitoreo biológico en la Selva Maya. US Man and the Biosphere, Tropical Ecosystem Directorate y Wildlife.
- Cordero, R. J. y Bolaños, A. (2007). Efecto de la altura y la edad de corte en la regeneración natural del guachipelín (*Pseudosamanea guachapele*) en la región Pacífico Norte de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 18(1), 21-28.
- Cordero-Martínez, G., Mercado-Silva, N., García de Jesús, S., Arce-Uribe, E., Ramírez-Ponce, A. & Mejía-Mojica, H. (2022). Specific and taxonomic diversity of the ichthyofauna of the Amacuzac River, Morelos, Mexico. *Revista De Biología Tropical*, 70(1), 290–306. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v70i1.48830>
- Duarte, A. B., Boelens, R. & Roa-Avenidaño, T. (2015). Hydropower, Encroachment and the Re-patterning of Hydrosocial Territory: The Case of Hidrosogamoso in Colombia. *Human organization*. 74. 243-254. 10.17730/0018-7259-74.3.243.
- Dueñas, A., Betancur, J. y Galindo-T, R. (2007). Estructura y composición florística de un bosque húmedo tropical del parque nacional natural Catatumbo Barí, Colombia. *Colombia forestal*, 10, 26-39.
- Etter, A. (1993). Diversidad Ecosistémica en Colombia Hoy. pgs. en: S. Cárdenas & H. D. Correa (eds.). *Nuestra Diversidad Biológica*. Colección Maria Restrepo de Ángel & CEREC, Fundación Alejandro Escobar. Bogotá, Colombia.
- Etter, A., Mcalpine, C., Phinn, S., Wilson K. & Possingham H. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114:369- 386.

- Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., Amaya, P. & Arévalo, P. (2017). Estado de los Ecosistemas Colombianos: una aplicación de la metodología de la Lista Roja de Ecosistemas (Vers 2.0). Informe Final. *Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional Colombia*. Bogotá. 138 p.
- Gentry, A. H. (1986). Species richness and floristic composition of Chocó region plant communities. *Caldasia*, 15, 71-91.
- Gentry, A. H. (1992). Tropical forest biodiversity: distributional patterns and their conservational significance. *Oikos*, 63, 19-28.
- Gentry, A. H. (1993). A field guide to the families and genera of woody plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru) with supplementary notes on herbaceous taxa. Chicago, Estados Unidos: The University of Chicago Press.
- Hernández-Camacho, J., Hurtado-Guerra, A., Ortiz-Quijano, R. & Walschburger, T. (1992). Unidades biogeográficas de Colombia. *La diversidad biológica de Iberoamérica*, 1, 105-151.
- Ibarguen-Restrepo, Y. J., Mena-Mosquera, V. E., y Pino-Bejarano, W. A. (2023). Determinación de fracción de carbono de especies forestales de tres bosques del departamento de Chocó, Colombia. *Colombia forestal*, 26(1), 22–35. <https://doi.org/10.14483/2256201X.18673>
- Kattan, G. (1997). Transformación de paisajes y transformación de hábitats. Pp. 76-87, en: *Causas de pérdida de biodiversidad* (MF Chavez y N Arango, eds.). Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander Von Humboldt, Bogotá.
- Kruskal, J. B. (1964). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika* **29**, 1–27. <https://doi.org/10.1007/BF02289565>

- Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A.T., Pennington, R.T. (2011). Neotropical Seasonally Dry Forests: Diversity, Endemism, and Biogeography of Woody Plants. In: Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A., Ceballos, G. (eds) Seasonally Dry Tropical Forests. Island Press, Washington, DC. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7_1
- Mena-Mosquera, V. E., Andrade, H. J. y Torres-Torres, J. J. (2020). Composición florística, estructura y diversidad del bosque pluvial tropical de la subcuenca del río Munguidó, Quibdó, Chocó, Colombia. *Entramado*, 16, 204-215.
- Mijango-Ramos, Z., Stapf, M., Vergara, C. R. & Mendieta, J. A. (2020). DIVERSIDAD DE ÁRBOLES Y ARBUSTOS EN LA RESERVA PRIVADA CERRO CHUCANTÍ EN DARIÉN, PANAMÁ.
- Montagnini, F. & Nair, P. K. R. (2004) Carbon Sequestration: An Underexploited Environmental Benefit of Agroforestry Systems. *Agroforestry Systems*, 61-62, 281-295. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79>
- Moreno, Claudia-E., Barragán, F., Pineda, E. & Pavón, Numa-P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1249-1261. Recuperado en 25 de agosto de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000400019&lng=es&tlng=es.
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz de la Sierra - Bolivia, Bolivia: El País.
- Olascuaga-Vargas, D., Mercado-Gómez, J. & Sánchez-Montaño, L. (2016). Análisis de la vegetación sucesional en un fragmento de bosque seco tropical en Tolúviejo-Sucre (Colombia). *Colombia Forestal*, 19(1), 23-40.

- Padilla, Henry-A., Kandler-Bendlis, L. & Guadamuz, N. (2017). Estructura y composición florística del Bosque Húmedo Tropical de la comunidad de San Jerónimo. *Revista Universitaria Del Caribe*, 19(2), 89–101. Recuperado a partir de <https://revistasnicaragua.cnu.edu.ni/index.php/caribe/article/view/4929>
- Pérez, C. & Gutiérrez, L. (1996). Estudio de la vegetación en cuatro estados sucesionales en las zonas aledañas a la hidroeléctrica Porce II. Tesis de grado. Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Medellín.
- Phillips, O. L., Hall, P., Gentry, A. H., Sawyer, S. A. & Vasquez, R. (1994). Dynamics and species richness of tropical rain forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 2805–2809.
- Pretzsch, Hans. (2010). *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. 10.1007/978-3-540-88307-4.
- Rincón, E. (2009). Selección de materiales de nogal cafetero *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken. Por productividad y resistencia al arrosamiento causado por el candidato a fitoplasma. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Roa-Avenidaño, L. (2019). *Hidrosogamoso: discursos, conflictos y resistencias*. Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador. 50 p.
- Sarmiento, M., López, A. y Mejía, A. (2014). Hacia un sistema de bancos de hábitat como herramienta de compensación ambiental en Colombia. *Documento de discusión, 1*.
- SiB Colombia (2019). *OpenRefine - Guía básica, Limpieza de datos sobre biodiversidad*. Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia. Bogotá D.C: Colombia.
- Yanoviak, S. P., Nalini M. N. & Solano J. R. “Arthropod Assemblages in Epiphyte Mats of Costa Rican Cloud Forests.” *Biotropica* 39, no. 2 (2007): 202–10.

Apéndices

Apéndice 1. Listado de especies organizado por familias. (ver archivo adjunto nombre:

Apéndice_1_Composición_de_especies_Embalse_Topocoro)