

Diferencias florísticas y estructurales entre hábitos de crecimiento en bosques altoandinos de Salento, Quindío

Quintero Suarez Julián Camilo, Rodríguez Jaimes Fredy Alexander

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Forestal

Director

Diego Suescún Carvajal

MSc Bosques y Conservación Ambiental

Codirector

Wilmar López Oviedo

MSc Ciencias – Estadística

Universidad Industrial de Santander

Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo a la montaña y al bosque, que con su silencio me enseñaron a escuchar y con su diversidad me mostraron la importancia de cada vida, por más pequeña que parezca. A mis padres, que han sido raíces firmes y tronco fuerte en este camino, gracias por la paciencia, la fe y por darme el suelo fértil donde crecer. A mis amigos y compañeros de ruta, que con risas, café y madrugadas compartidas hicieron que el camino académico se sintiera más ligero. Y a mí mismo, por no rendirme cuando la cuesta fue empinada y por recordar siempre que el esfuerzo florece en frutos.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Universidad Industrial de Santander, sede Málaga, y a mis profesores, quienes con su guía académica y humana aportaron a mi formación no solo como ingeniero forestal, sino como persona sensible al cuidado de la vida y los ecosistemas. la compañía Smurfit Westrock Cartón de Colombia que permitió que el proyecto se hiciera realidad. A los compañeros de investigación, por caminar este proceso conmigo con complicidad. A Diego Suescún, Wilmar López, Andrés Rojas y a todos los que acompañaron la colecta de datos en el bosque, porque cada anotación en la libreta es también huella de equipo.

A las comunidades rurales que nos abrieron sus puertas y compartieron historias, a los bosques andinos que con cada especie registrada nos recordaron lo mucho que queda por conservar, y al universo, que en su manera misteriosa siempre alineó caminos para que este proyecto se hiciera posible. Finalmente, gracias a quienes, de una u otra manera, con palabras de ánimo, compañía o silencios compartidos, sembraron en mí la fuerza para culminar este sueño.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1.Objetivos 14	
1.1 Objetivo General.....	14
1.2 Objetivos Específicos.....	14
2.Marco referencial.....	15
2.1 Marco teórico	15
2.1.1 <i>Andes tropicales</i>	15
2.1.2 <i>Bosques andinos</i>	15
2.1.3 <i>Diversidad y estructura de la vegetación</i>	16
2.1.4 <i>Parcelas permanentes</i>	17
2.1.5 <i>Análisis estructural y de regeneración en bosques andinos</i>	18
3.Metodología.....	19
3.1 Área de estudio	19
3.2 Diseño experimental	21
3.3 Levantamiento de datos	22
3.4 Herbario	23
3.5 Análisis de datos	23
3.5.1 <i>Composición florística</i>	23
3.5.1.1 Riqueza de especies	23
3.5.1.2 Diversidad alfa.....	24
3.5.1.3 Diversidad beta.	24

3.5.1.4 Curva de acumulación de especies.	24
3.5.2 <i>Estructura horizontal</i>	25
3.5.2.1 Clases diamétricas.....	25
3.5.3 <i>Estructura vertical</i>	25
4.Resultados.....	26
4.1 Composición florística.....	26
4.1.1 <i>Riqueza</i>	26
4.1.2 <i>Diversidad Alfa</i>	36
4.1.3 <i>Diversidad Beta</i>	39
4.2 Curva de acumulación de especies área.....	41
4.3 Estructura física.....	42
4.3.1 <i>Estructura horizontal</i>	42
4.3.2 <i>Estructura vertical</i>	44
4.3.3 Especies de interés ecológico para la conservación.....	59
5.Discusión	60
6.Conclusiones.....	74
7.Recomendaciones.....	75
Referencias Bibliográficas.....	78

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Cálculo de valor fitosociológico de estratos (VFS).....	25
Tabla 2. Riqueza del área de estudio para hábito arbóreo.	27
Tabla 3. Riqueza del área de estudio para hábito herbáceo.	30
Tabla 4. Diversidad Alfa por transecto y área de estudio (RAP) para el hábito arbóreo.....	37
Tabla 5. Diversidad Alfa para cada transecto y el Área de Estudio (RAP) para el hábito herbáceo	38
Tabla 6. Promedios de altura y DAP entre latizales y fustales para hábitos arbóreos.....	42
Tabla 7. Estimación de biomasa y estructura forestal por transecto para hábitos arbóreos.....	43
Tabla 8. Descripción de especies para el perfil de vegetación	58
Tabla 9. Especies de interés ecológico	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Área de estudio	20
Figura 2. Transecto tipo RAP modificado:	23
Figura 3. Abundancia de individuos en la taxonomía del hábito arbóreo	29
Figura 4. Riqueza florística por hábito de crecimiento y por unidad de muestreo	31
Figura 5. Abundancia entre hábitos de crecimiento y por unidad de muestreo	32
Figura 6. Distribución de abundancia de familias por categoría diamétricas para hábito arbóreo	33
Figura 7. Distribución de abundancia de familias para hábitos herbáceos.	34
Figura 8. Distribución de individuos por especies representativas para hábito arbóreo.....	34
Figura 9. Abundancia de especies representativas para hábito herbáceo	35
Figura 10. Dendrograma de similitud de Jaccard para el hábito arbóreo	39
Figura 11. Dendrograma de similitud de Jaccard para el hábito herbáceo	40
Figura 12. Acumulación de especies por área	41
Figura 13. Clases diamétricas para hábito herbáceo	44
Figura 14. Posición sociológica relativa por hábito de crecimiento	45
Figura 15. Posición Sociológica Relativa de las 20 especies más representativas del estudio....	45
Figura 16. Posición sociológica por relativa de la regeneración natural por hábito de crecimiento	46
Figura 17. Posición Sociológica Relativa de las 20 especies más representativas del estudio....	47
Figura 18. Distribución del IVI por hábito de crecimiento arbóreo.	48
Figura 19. Índice de valor de importancia para las 20 especies de fustales más representativos	49

Figura 20. Distribución del IVI en la regeneración natural para el hábito de crecimiento arbóreo.	50
Figura 21. Índice de valor de importancia de la regeneración natural para las 20 especies más representativas.....	51
Figura 22. Descripción de la regeneración natural relativa por categoría de crecimiento en hábito arbóreo	52
Figura 23. Regeneración Natural relativa de las 20 especies de fustales más representativas	53
Figura 24. Descripción del índice de importancia ecológico ampliad por categoría de crecimiento en hábito arbóreo.....	55
Figura 25. Índice de valor de importancia amplificado para las 20 especies más representativas en el estudio.	55
Figura 26. Perfil vertical de la vegetación para los diferentes hábitos de crecimiento.....	57
Figura 27. Altura y promedio de cobertura en cada transecto.	59

Glosario

Área basal: superficie ocupada por la sección transversal de los troncos de los árboles a una altura de 1,3 m sobre el suelo, expresada generalmente en metros cuadrados por hectárea.

Bosque andino: ecosistema forestal ubicado en las montañas andinas, es importante por su regulación hídrica y el almacenamiento de carbono, posee una alta diversidad de especies vegetales y animales.

Composición florística: conjunto de relación de especie vegetales que habita un área determinada, permite conocer la diversidad, riqueza y abundancia de la vegetación.

Diversidad alfa: nivel de diversidad que mide la variedad de especies dentro de una unidad de muestreo específica.

Estructura horizontal: distribución espacial de los individuos de cada especie dentro de una comunidad vegetal, se describe con abundancia y frecuencia.

Estructura vertical: caracterización de la vegetación en estrados o capas según la altura que presentan las especies, desde el sotobosque hasta el dosel.

Hábitos de crecimiento: tipos de desarrollo adaptativo en las plantas dentro de un ecosistema, como árboles, arbustos, hierbas, epífitas y trepadoras.

Índice de importancia ecológica (IVI): describe la combinación de valores de abundancia, dominancia y frecuencia para identificar la relevancia de una especie dentro del ecosistema.

Riqueza de especies: número total de especies registradas en un área de estudio, sin relacionar las abundancias.

Resumen

Título: Diferencias florísticas y estructurales entre hábitos de crecimiento en bosques andinos de Salento, Quindío*

Autor: Quintero Suarez Julián Camilo, Rodríguez Jaimes Fredy Alexander**

Palabras Clave: Ceroxylon, estructura forestal, dinámica ecológica, diversidad de especies, macana, Magnolia

Descripción:

El presente estudio aborda las diferencias florísticas y estructurales entre hábitos de crecimiento en los bosques andinos de Salento (Quindío), con el propósito de aportar a la comprensión ecológica y a la conservación de estos ecosistemas estratégicos, revelando que la diversidad del ecosistema reside en la coexistencia de especies con hábitos arbóreos y herbáceos. A partir de un muestreo aleatorio, se registraron 89 especies vasculares, de las cuales el se distribuyen en múltiples hábitos, donde el componente herbáceo resultó ser el más representativo en términos de diversidad. La composición florística reflejó la presencia de especies endémicas y de interés para la conservación, como *Magnolia hernandezii* y *Meriania antioquiensis*, clasificadas en categorías de amenaza según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Asimismo, especies nativas como *Juglans neotropica* y *Ceroxylon quindiuense* evidencian la importancia de los bosques andinos como refugios de biodiversidad y reservorios de servicios ecosistémicos. El análisis estructural reveló patrones del bosque con distribuciones diamétricas en “J” invertida, lo que indica una sostenibilidad a mediano y largo plazo, también se identificaron especies raras de baja abundancia, como *Calophyllum brasiliense* y *Trophis caucana*, cuya escasa representación podría comprometer su permanencia en el ecosistema. La evaluación de la biomasa y de la diversidad por estratos mostró la relevancia de especies leñosas como *Wettinia kalbreyeri* en la estabilidad estructural, así como el papel fundamental de las herbáceas (*Anthurium cabrerense*, *Begonia spp.*) en la provisión de diversidad funcional. Estos hallazgos resaltan la necesidad de estrategias que integren conservación in situ, de esta manera, se garantiza no solo la preservación de especies clave, sino también el mantenimiento de procesos ecológicos esenciales como la regulación hídrica y el almacenamiento de carbono. En suma, el estudio contribuye con información valiosa para orientar planes de ordenamiento y manejo ambiental, fortaleciendo el valor ecológico.

* Trabajo de Grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Ingeniería forestal. Director: Diego Suescún Carvajal. MSc. Bosques y Conservación Ambiental. Codirector: Wilmar López Oviedo. MSc. Ciencias – Estadística

Abstrac

Title: Floristic and structural differences between growth habits in high Andean forests of Salento, Quindío*

Author: Quintero Suarez Julián Camilo, Rodríguez Jaimes Fredy Alexander**

Keywords: Ceroxylon, forest structure, ecological dynamics, species diversity, macana, Magnolia

Description:

This study addresses the floristic and structural differences among plant growth habits in the Andean forests of Salento (Quindío), aiming to contribute to the ecological understanding and conservation of these strategic ecosystems by revealing that their biodiversity lies in the coexistence of arboreal and herbaceous species. Through random sampling, 89 vascular plant species were recorded across multiple growth habits, with the herbaceous component proving the most diverse. Floristic composition reflected the presence of endemic and conservation-priority species such as *Magnolia hernandezii* and *Meriania antioquiensis*, both classified under threat categories by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). Likewise, native species like *Juglans neotropica* and *Ceroxylon quindiuense* underscore the importance of Andean forests as biodiversity refuges and reservoirs of ecosystem services. Structural analysis revealed a reverse “J-shaped” diameter distribution, indicating medium- to long-term sustainability. Additionally, rare, low-abundance species such as *Calophyllum brasiliense* and *Trophis caucana* were identified, whose minimal representation may jeopardize their persistence in the ecosystem. Biomass and stratified diversity assessments highlighted the structural importance of woody species like *Wettinia kalbreyeri*, as well as the critical functional role of herbaceous plants (*Anthurium cabrerense*, *Begonia* spp.) in maintaining floristic diversity. These findings emphasize the need for integrated in situ conservation strategies that safeguard not only keystone species but also essential ecological processes such as water regulation and carbon storage. In summary, this study provides valuable information to guide land-use planning.

* Thesis

** Institute for Regional Outreach and Distance Education (IPRED). Forestry Engineering Program. Director: Diego Suescún Carvajal, MSc. Forests and Environmental Conservation. Co-director: Wilmar López Oviedo, MSc. Sciences – Statistics.

Introducción

Los ecosistemas naturales tropicales se caracterizan por su alta diversidad, particularmente, los Andes tropicales son un hotspots de biodiversidad y se destaca por ofrecer importantes servicios ecosistémicos fundamentales para las poblaciones humanas y ambientales, siendo el primero en la lista de 35 hotspots que describen la riqueza y el endemismo de especies. Además, los Andes tropicales son importantes porque allí se encuentra una sexta parte de las plantas del mundo (CEPF, 2015).

A pesar de su importancia, en las zonas altas de los Andes cuya historia está enmarcada cambio de uso del suelo (Butchart et al., 2010). Factor identificado como el principal conductor de cambio, marcado por la colonización y la migración, lo cual ha sido determinante en la dinámica del paisaje y cambio del uso del suelo y la deforestación (Torres, 2024). Estas áreas han sido afectadas por la tala indiscriminada, agricultura y ganadería, lo que ha degradado y reducido los ecosistemas forestales de manera significativa (Taubert et al., 2018; Ortiz et al., 2025). Por lo tanto, la pérdida y fragmentación de los bosques andinos se genera por la transformación del paisaje, afectando el hábitat de las especies, la conectividad ecológica, la estructura, la dinámica y composición florística de los bosques (Botero et al., 2020).

En el departamento del Quindío, a pesar de conservar una vocación agropecuaria, el desarrollo del turismo se ha favorecido gracias a su paisaje, posición estratégica y conectividad vial (Maldonado & Salazar, 2020). No obstante, la suma de otras actividades antrópicas como la deforestación y expansión de la frontera agrícola, ha generado pérdida de áreas significativas de bosques andinos, ecosistemas que se destacan por presentar una alta capacidad de retención hídrica en este departamento y albergar una cifra notable de riqueza de especie endémicas de plantas

vasculares (Prada, 2023). Los bosques andinos cumplen un papel importante en la provisión de servicios ecosistémicos, la conservación de la diversidad, el mantenimiento de la cantidad y calidad del agua y regulación del ciclo hidrológico (Celleri, 2009; Garzón., 2010). Factores que han hecho que la cordillera de los Andes sea una región de interés y prioridad nacional e internacional para su conservación (Orme et al., 2005)

La presente investigación busca aportar conocimiento por medio de una caracterización florística y estructural de los bosques andinos de Salento Quindío, por hábitos de crecimiento de plantas vasculares. Estudios indican que las especies no arbóreas (hierbas terrestres, epífitas y escandentes) pueden representar el 54,3 y 87,0% del total de especies registradas en bosques andinos, lo que resalta su papel clave en la composición y diversidad del bosque (Higuita & Dávila, 2018; Caro et al., 2024). A través de este estudio, se espera generar información clave que contribuya a la conservación y gestión sostenible de estos bosques, facilitando la identificación de especies indicadoras que apoyen procesos para conservar los sistemas en la región.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Caracterizar la riqueza, diversidad, composición florística y estructura entre hábitos de crecimiento de herbáceas y arbóreos con diámetro a la altura del pecho (DAP) $> 2,5$ cm en bosques andinos de Salento (Quindío), con énfasis en especies de interés ecológico para la conservación.

1.2 Objetivos Específicos

Evaluar la riqueza, diversidad y composición florística de la vegetación entre hábitos de crecimiento arbóreos y herbáceos en las áreas de estudio

Analizar la estructura horizontal y vertical de los árboles con DAP $> 2,5$ cm, y la estructura básica de herbáceas.

Identificar especies de interés ecológico para la conservación, con criterios de rareza, endemismos y vulnerabilidad.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 Andes tropicales

Los Andes tropicales constituyen una de las formaciones geológicas más antiguas y biodiversas del planeta. A lo largo de su gradiente altitudinal, albergan una amplia diversidad de hábitats, desde ecosistemas boscosos hasta páramos y zonas áridas, condicionados por la interacción de pisos térmicos, microclimas y regímenes bioclimáticos que van de xéricos a pluviales (Antonelli et al., 2018). Esta heterogeneidad ambiental determina la distribución de los tipos de vegetación y moldea las estrategias adaptativas de las formas de vida en la región.

Los Andes del Norte y Centro, en particular, son reconocidos como el hotspot de biodiversidad con mayor riqueza y endemismo de plantas a nivel mundial (Myers et al., 2000). Se estima que albergan aproximadamente 30.000 especies de plantas vasculares, de las cuales cerca del 50% son endémicas (Rodríguez & Leiton, 2021). Esta extraordinaria diversidad no solo refleja procesos evolutivos únicos, sino que también sustenta servicios ecosistémicos críticos para millones de personas en América del Sur

2.1.2 Bosques andinos

Los bosques andinos se definen como ecosistemas de montaña que se distribuyen entre los 2.000 y 3.800 m s.n.m. en los Andes tropicales, aunque sus límites varían regionalmente: en la región andina baja de Colombia, predominan entre 2.400 y 2.800 m s.n.m., mientras que en la subandina se extienden desde los 1.000 hasta los 2.400 m s.n.m. (Kessler et al., 2019). Estos bosques albergan vegetación altamente especializada, adaptada a condiciones de baja temperatura,

alta humedad, intensa radiación UV, pendientes pronunciadas y suelos derivados de cenizas volcánicas, generalmente poco profundos pero ricos en materia orgánica (Tovar et al., 2021).

En Colombia, estos ecosistemas son reconocidos como reservorios críticos de biodiversidad. Estudios en el Eje Cafetero reportan riquezas florísticas de 60 a 120 especies por hectárea, con familias dominantes como Lauraceae, Rubiaceae y Arecaceae (Galeano et al., 2020). El Índice de Valor de Importancia (IVI) suele estar liderado por especies como *Weinmannia pinnata*, *Clusia gundlachii* y *Wettinia kalbreyeri*, con valores superiores al 20%, reflejando su rol estructural dominante (Maldonado & Salazar, 2020; Caro et al., 2024). Además de su riqueza vegetal, estos bosques albergan alta diversidad de aves, anfibios y microorganismos, y constituyen fuentes esenciales de agua y subsistencia para comunidades locales (Cortés-Ballén et al., 2020).

2.1.3 Diversidad y estructura de la vegetación

La diversidad florística se refiere a la variedad de especies vegetales presentes en un ecosistema, así como a su distribución relativa, y constituye un indicador fundamental de la salud ecológica, funcionalidad y resiliencia frente al cambio climático (Cortés-Ballén et al., 2020). A nivel local, se cuantifica mediante la diversidad alfa, que integra dos componentes: riqueza (número total de especies) y equitatividad (distribución de individuos entre especies). Para su cálculo, se utilizan índices como el de Shannon-Wiener (H'), sensible a la riqueza y equitatividad, y el de Simpson ($1-D$), que enfatiza la dominancia de unas pocas especies (Magurran, 2004). Estos índices permiten comparar la complejidad biológica entre comunidades y evaluar el impacto de factores ambientales o antrópicos.

Por otro lado, la estructura de la vegetación describe la organización espacial de las plantas en dos dimensiones complementarias. La estructura horizontal se analiza mediante variables como densidad, abundancia, frecuencia, diámetro a la altura del pecho (DAP) y área basal, las cuales permiten calcular el Índice de Valor de Importancia (IVI) una métrica que sintetiza el peso ecológico de cada especie en el ecosistema (Rangel & Velázquez, 1997; Mendoza, 2008). La estructura vertical, en cambio, se define por la estratificación del dosel, identificando niveles (bajo, medio, alto) mediante el parámetro de altura, y se cuantifica con índices como el Índice de Posición Sociológica (PS) y el Valor Fitosociológico de Estrato (VFS), que revelan el rol de cada especie en la arquitectura del bosque (Mendoza, 2008). Juntos, estos enfoques permiten una caracterización integral de la composición florística y la dinámica ecológica de los bosques andinos.

2.1.4 Parcelas permanentes

Para cuantificar los parámetros de diversidad y estructura descritos en la sección anterior, se requiere un diseño de muestreo estandarizado, replicable y comparable a nivel regional. En este contexto, las parcelas permanentes unidades delimitadas de terreno monitoreadas a largo plazo se han consolidado como herramientas fundamentales para entender la dinámica de los ecosistemas forestales a distintas escalas espaciales y temporales (Phillips et al., 2009).

En bosques tropicales y andinos, el protocolo RAP (Rapid Assessment of Plant diversity) de Gentry (1982) ha sido ampliamente adoptado por su eficiencia y comparabilidad. Este método emplea transectos de 2×50 m (0,01 ha), un tamaño que equilibra la representatividad florística con la viabilidad logística en terrenos montañosos y de difícil acceso (Gentry, 1982; Caro et al., 2024). A diferencia de parcelas más grandes (ej. 10×50 m), el diseño de 2×50 m permite

establecer mayor número de réplicas (10 transectos distribuidos aleatoriamente), lo que mejora la captura de la heterogeneidad espacial característica de los bosques andinos (Maldonado & Salazar, 2020).

En cada transecto, se registraron todos los individuos con hábito arbóreo (árboles, arbustos, palmas y helechos arborescentes) con $DAP \geq 2,5$ cm, umbral común en estudios de bosques montanos para incluir individuos en etapas tempranas de crecimiento (Mendoza, 2008). Además, para abordar la diversidad no arbórea clave en los Andes, se incluyeron subcuadrantes de 1×1 m dentro de cada transecto, donde se muestrearon herbáceas terrestres, helechos, escandentes y plántulas. Este enfoque integral permite una caracterización completa de la composición florística y la estructura ecológica del bosque andino.

2.1.5 Análisis estructural y de regeneración en bosques andinos

La caracterización ecológica de los bosques andinos requiere no solo identificar las especies presentes, sino también comprender su organización espacial y su dinámica poblacional. Para ello, se utilizan una serie de métricas y representaciones que permiten interpretar la salud, estabilidad y potencial de regeneración del ecosistema. La estructura diamétrica se analiza agrupando los individuos en clases de DAP (por ejemplo, cada 5 o 10 cm), lo que permite visualizar la distribución de tamaños en la población. En bosques naturales no perturbados, es común observar un patrón en “J invertida”, caracterizado por un alto número de individuos en las clases pequeñas y pocos en las grandes, lo que indica regeneración natural activa y estabilidad sucesional (Mendoza, 2008; Maldonado & Salazar, 2020).

La estructura vertical se define mediante la estratificación del dosel, generalmente en tres niveles (bajo, medio, alto), basada en la altura dominante del bosque. Para cuantificar la participación de cada especie en estos estratos, se emplean el Índice de Posición Sociológica (PS)

y el Valor Fitosociológico de Estrato (VFS). Estos índices permiten identificar especies que cumplen un papel de conformación de dosel, es decir, que definen la arquitectura del estrato superior, y aquellas que actúan como acompañantes estructurales, presentes en estratos medios o bajos y que aportan heterogeneidad al hábitat (Mendoza, 2008). Para evaluar la regeneración, se calcula la Regeneración Natural Relativa (RNR), que expresa la proporción de individuos en etapas tempranas (latizales) respecto al total.

El Índice de Valor de Importancia Amplificado (IVIA) es una extensión del IVI tradicional que integra la importancia ecológica de una especie a lo largo de todo su ciclo de vida, combinando el IVI de fustales (individuos maduros) y latizales (regeneración). Mientras que el IVI estándar solo refleja el rol de una especie en un estrato (generalmente adultos), el IVIA permite identificar aquellas que son clave tanto en la estructura actual como en la regeneración futura del bosque (Mendoza, 2008).

Finalmente, el perfil de vegetación es una representación gráfica idealizada de la estructura vertical del bosque, que sintetiza la distribución espacial de las especies por altura y hábito. Esta herramienta es fundamental para comunicar la complejidad del ecosistema a gestores, tomadores de decisiones y comunidades locales (Rangel-Churio et al., 2019).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

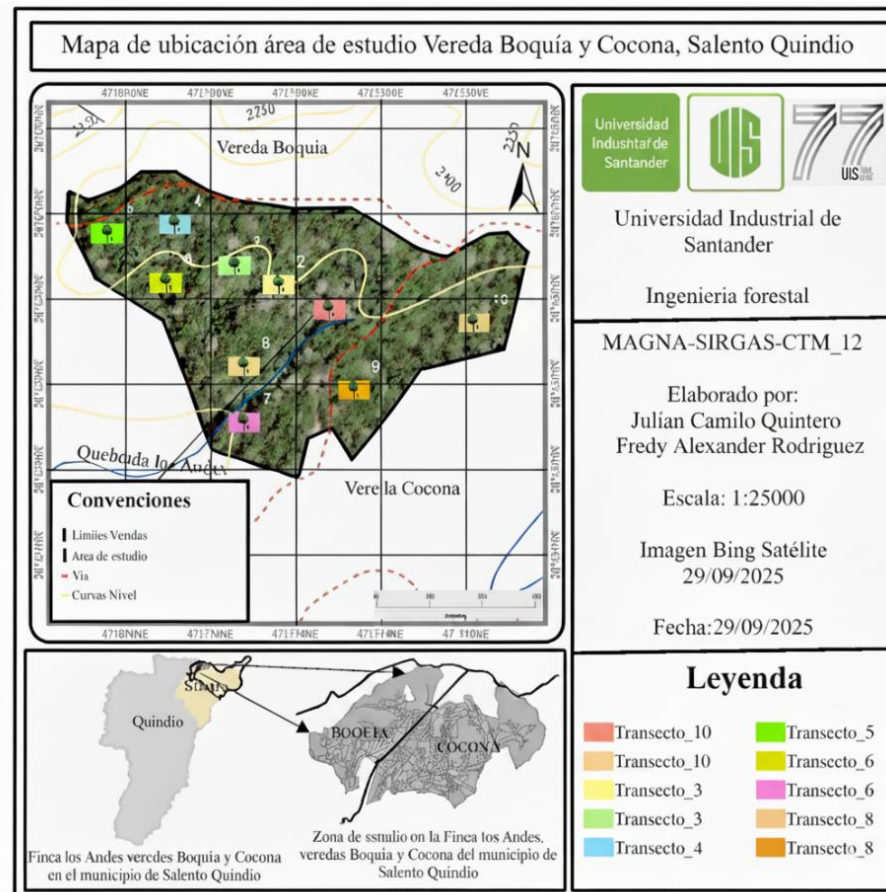
El estudio se desarrolló en la reserva natural “La Patasola” (Figura 1) en la vereda Boquía en el municipio de Salento al nororiente del departamento del Quindío, en la Cordillera Central

entre las coordenadas 4°30'N-75°19' W y 4°45'N, 75°39'W, a una altitud aproximada de 2500 m s. n. m. (CRQ, 2021). En esta zona, la compañía Smurfit Westrock Cartón de Colombia conserva en una de sus fincas llamada Andes, un área de 697 ha de bosque natural en las veredas Boquía y Cocona. La precipitación presenta un régimen bimodal, con una precipitación media anual que fluctúa entre 2.200 y 2.400 mm y promedio mensual que oscilaron entre 123 y 655 mm. La temperatura media registrada fue de 18°C. De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987), el área de estudio correspondió a un bosque muy húmedo montano bajo (bmh-Mb) (Arbeláez & Valencia, 2012).

Los suelos provienen de las cenizas volcánicas nutridas por los volcanes Nevado del Ruiz, Quindío y Tolima, caracterizados por altos contenidos de materia orgánica, son ligeramente ácidos y presentan buena permeabilidad. El relieve es predominantemente montañoso, con lomeríos, escarpes y laderas, con pendiente moderadas y abruptas (IGAC, 1996).

Figura 1.

Área de estudio



3.2 Diseño experimental

El trabajo de campo fue empleado con un diseño de muestreo aleatorio con unidades de muestreo rectangulares. Se estableció un muestreo rápido de vegetación (RAP) mediante 10 transectos de 0,01 ha de 2 x 50 m cada uno (Gentry, 1982). En estos transectos se incluyeron todos los individuos con hábito de crecimiento arbóreo con un DAP > 2,5 cm. Además, se creó un subcuadrante de 1x1 m dentro de los transectos para el registro de hábitos herbáceos. Se instalaron tubos de PVC cada 20 m, con un adicional a los 10 m finales, marcados con placas indicando el correspondiente número del transecto. Se registró la posición relativa de cada individuo en coordenadas cartesianas (X, Y), donde la distancia desde el punto cero hasta el árbol se anotó en

el eje Y, y la distancia lateral desde la línea principal en el eje X, asignando valores negativos a la izquierda y positivos a la derecha.

3.3 Levantamiento de datos

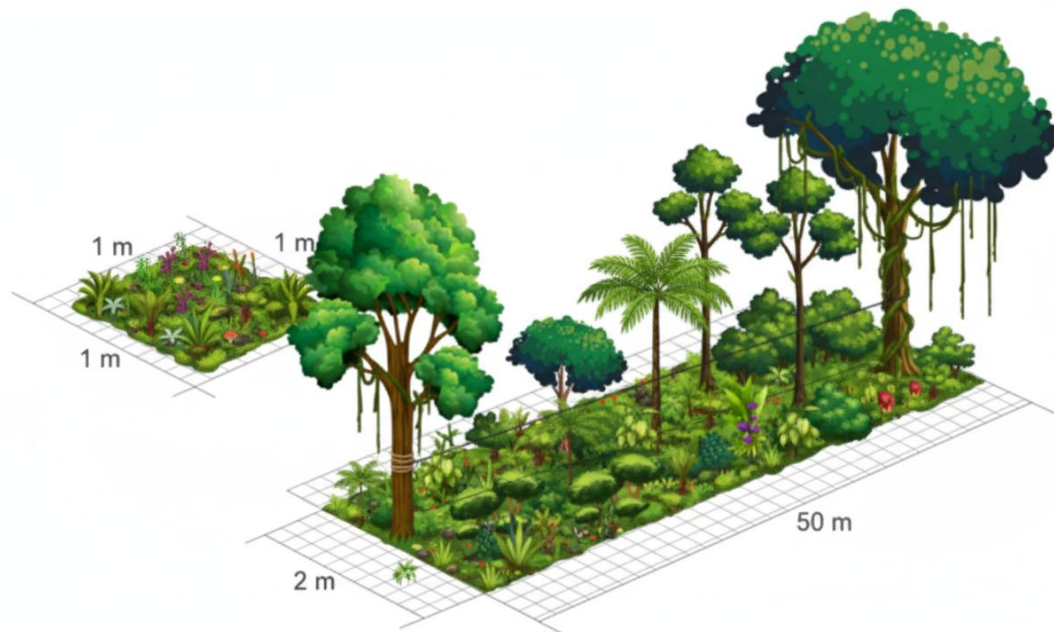
Se implementó un muestreo rápido de vegetación (RAP) siguiendo el protocolo de Gentry (1982), ampliamente validado en bosques tropicales y andinos por su eficiencia y comparabilidad (Caro et al., 2024). Se establecieron 10 transectos de 2×50 m (0,01 ha cada uno), distribuidos aleatoriamente en el área de estudio. Esta intensidad de muestreo (0,1 ha total) es consistente con estudios en bosques montanos del Eje Cafetero, donde se ha demostrado que 10 réplicas permiten capturar más del 85% de la riqueza arbórea esperada, incluso en paisajes heterogéneos (Maldonado & Salazar, 2020; Galeano et al., 2020). La elección de 2 m de ancho (1 m a cada lado de la línea central) responde a la necesidad de equilibrar representatividad y viabilidad logística en terrenos montañosos con pendientes abruptas. Cada árbol se enumeró en el orden en que se encontraron y se marcaron con plaqueta y alambre para el caso de hábitos de crecimiento arbóreo con un DAP $\geq 2,5$ cm se marcaron con pintura asfáltica amarilla. Se registró la medición de variables dasométricas como el DAP (con cinta diamétrica) y la altura total (medida con hipsómetro). Se tomaron los códigos de campo “FLAG” para las características presentes en cada individuo arbóreo, según la metodología de RAINFOR (2021). Los datos se registraron en formatos digitales mediante la aplicación Fulcrum.

La primera unidad de muestreo (P1) consistió en un transecto de 2×50 m, el cual cubrió un área de 0,01 ha. En esta unidad se registraron los árboles (A), arbustos (T), palmas (P) y helechos arbóreos (FA) Con un DAP mayor a 2,5 cm. La segunda unidad de muestreo (P2) estuvo representada por un transecto de 1×1 m que cubrió un área de 0,0001 ha. En este último, se

registraron los escandentes herbáceos (SH), escandentes leñosos (SL), helechos herbáceos terrestres (FHR), herbáceas terrestres (Hr) y plántulas (R) (Figura 2).

Figura 2.

Transecto tipo RAP modificado.



3.4 Herbario

Las muestras botánicas luego de ser colectadas en campo, fueron prensadas, alcoholizadas, marcadas y enviadas al herbario del Jardín Botánico de Medellín para su correcta identificación taxonómica.

3.5 Análisis de datos

3.5.1 Composición florística

3.5.1.1 Riqueza de especies. La riqueza se definió como el número total de especies registradas por unidad de muestreo y hábito de crecimiento (Gebeyehu, 2019). Para contextualizar los resultados, se compararán con valores reportados en bosques andinos similares: en el Quindío

y Caldas, estudios recientes reportan riquezas arbóreas de 40–70 especies por 0,1 ha y herbáceas de 30–60 especies por 0,001 ha (Galeano et al., 2020; Caro et al., 2024). Estos rangos servirán como referencia para evaluar si la diversidad en Salento se encuentra dentro de los patrones esperados para ecosistemas altoandinos conservados.

3.5.1.2 Diversidad alfa. Se calcularon varias medidas para la diversidad de especies, aplicando el índice de Shannon-Wiener (H'), el índice de Margalef (R) (Susilowati et al., 2020; Yemata & Haregewoien, 2022) el índice de Simpson (D) y cociente de mezcla (CM) (Linares, 2015). Las fórmulas son: $H' = \sum (p_i (\ln p_i))$, $R = S-1/\ln(N_o)$, $D = [n_i(n_i - 1) / N(N-1)]$, $CM = N_{sp}/N_i$.

3.5.1.3 Diversidad beta. La diversidad beta refleja la diferencia o similitud en la composición florística entre comunidades vegetales. Para analizar esta similitud, se utilizaron los datos de los 10 transectos, considerando todas las especies identificadas con $DAP \geq 2,5$ cm en el hábito arbóreo y todas las especies herbáceas registradas. Este enfoque permitió comparar la composición entre grupos y explorar cómo los hábitos de crecimiento influyen en la heterogeneidad espacial del bosque (Malizia et al., 2020). Se usará la siguiente ecuación:

Donde SJ = Similitud Jaccard $SJ=c/a+b-c$.

3.5.1.4 Curva de acumulación de especies. Se ajustaron las curvas de acumulación de especies área para evaluar la representación del muestreo y comprobar la riqueza de especies en los diferentes hábitos de crecimiento. Los registros tomados en cuenta representan la totalidad identificada de dichas especies en el proceso de muestreo (Zhao et al., 2010). En cuanto a la estructura por hábito de crecimiento, se evaluó la distribución de los parámetros de altura y DAP a partir de los intervalos de clase obtenidos mediante la ecuación:

$$C = (X_{\text{máx.}} - X_{\text{min.}}) / m$$

3.5.2 Estructura horizontal

La estructura horizontal de los bosques se analizó en términos de abundancia, frecuencia y dominancia, esta última equivale al área basal en m^2/ha ; $AB = \pi(d)^2/4$. La suma de las tres variables generó el índice de valor de importancia $IVI \% = AR + FR + DR$. También se determinó el DAP medio, la densidad, y se ajustó la distribución de las clases diamétricas de todas las especies registradas con un $DAP > 2,5$ cm.

3.5.2.1 Clases diamétricas. La estructura diamétrica de los bosques se analizó a partir del número de individuos y sus respectivos valores de DAP, agrupados en clases de 5 cm de amplitud, siguiendo la metodología propuesta por Mendoza (2008). El primer intervalo comenzó en 2,5 cm (límite inferior de inclusión) y se extendió hasta 104,2 cm (DAP máximo registrado). La distribución de individuos por clase se representó mediante histogramas, lo que permitió identificar patrones poblacionales, como la presencia de regeneración natural o dominancia de ciertos tamaños.

3.5.3 Estructura vertical

La estructura vertical en el ecosistema forestal se dividió en tres estratos, según el punto de referencia de la altura dominante (altura media del dosel), por ende, se utilizaron los siguientes índices: índice de posición sociológica (PS) y valor fitosociológico de cada estrato (VFS). Los cálculos se realizaron como indica la Tabla 1.

Tabla 1.

Cálculo de valor fitosociológico de estratos (VFS).

Estrato	N/ha	VF % (n)	VFS
Estrato I (<h1m)	N1	$n1=N1/Nt$	$n1/10$
Estrato II (h1-h2m)	N2	$n2=N2/Nt$	$n2/10$
Estrato III (>h2m)	N3	$n3=N3/Nt$	$n3/10$

Σ	Nt	100	10
----------	----	-----	----

Nota. tomado de Linares (2015).

4. Resultados

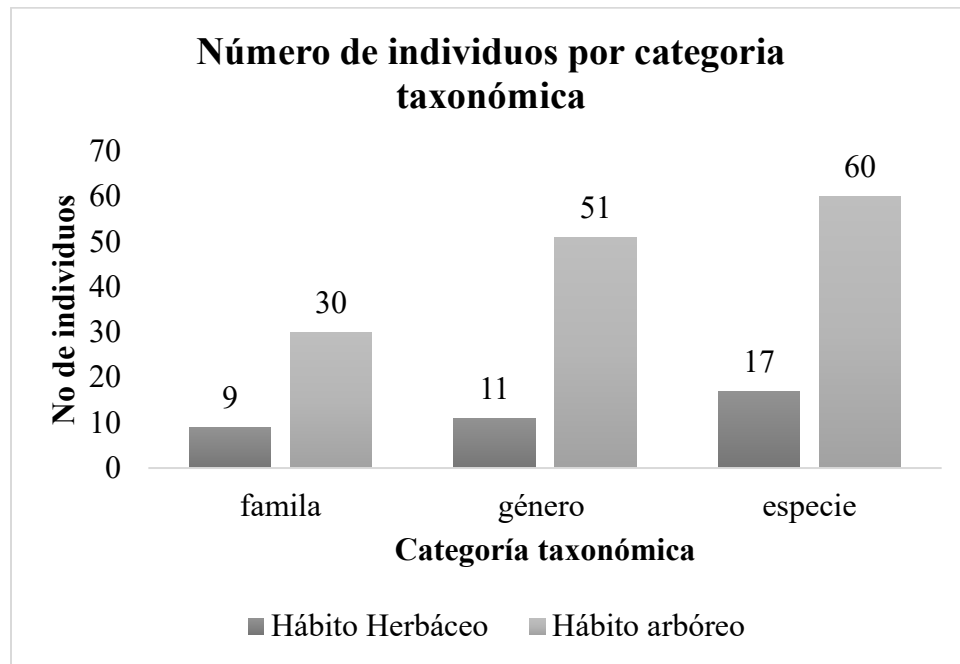
4.1 Composición florística

4.1.1 Riqueza

Los resultados que se presentan a continuación representan la composición florística el área de estudio (Figura 3). Para el hábito arbóreo se obtuvo una riqueza de 60 especies agrupadas en 30 familias, 51 géneros, y una abundancia total de 328 individuos de las cuales la especie más abundante es la palma macana *Wettinia kalbreyeri* (Burret) R. Bernal con 48 individuos seguida por *Chamaedorea linearis* H.Wendl con 28, *Faramea oblongifolia* Müll.Arg. con 21 y *Palicourea angustifolia* Kunth con 17 individuos. Para el hábito herbáceo se obtuvieron 17 especies agrupadas en nueve familias y 11 géneros.

Figura 3.

Abundancia de individuos por categoría taxonómica para los hábitos de crecimiento.



Según la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), se identificaron tres especies en peligro (EN), *Magnolia hernandezii*, *Juglans neotropica* Diels y *Ceroxylon quindiuense* (H. Karst.) H. Wendl. En la categoría de especies “Vulnerables” se registraron las especies *Geissanthus francoae* Lundell y *Meriania antioquiensis* L. Uribe. Finalmente, se registraron 45 especies en la categoría de preocupación menor, y 11 especies no evaluadas (Tabla 2).

Tabla 2.

Riqueza del área de estudio para hábito arbóreo.

No de individuos	Familia	Especie
1	Cyatheaceae	<i>Alsophila erinacea</i> (H. Karst.) D.S. Conant
2	Annonaceae	<i>Annona rensoniana</i> (Standl.) H. Rainer
3	Primulaceae	<i>Ardisia foetida</i> A. DC.
4	Asteraceae	<i>Asteraceae</i> sp.
5	Melastomataceae	<i>Axinaea macrophylla</i> Cogn.
6	Lauraceae	<i>Beilschmiedia towarensis</i> (Mez) Kosterm.
7	Icacinaceae	<i>Calatola costaricensis</i> L.O. Williams
8	Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess

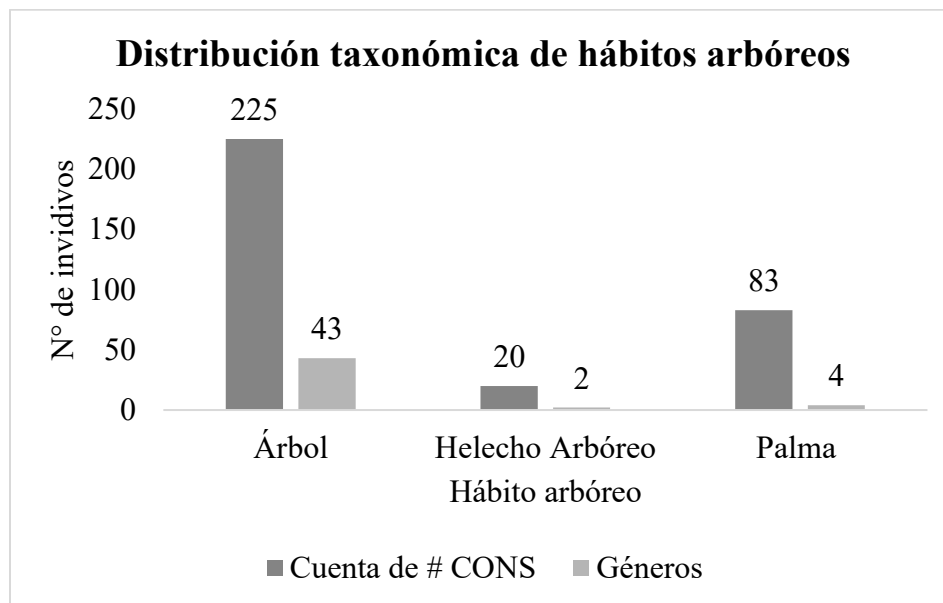
9	Urticaceae	<i>Cecropia angustifolia</i> Trécul
10	Urticaceae	<i>Cecropia telenitida</i> Cuatrec.
11	Arecaceae	<i>Ceroxylon quindiuense</i> (H. Karst.) H. Wendl.
12	Solanaceae	<i>Cestrum ochraceum</i> Francey
13	Arecaceae	<i>Chamaedorea linearis</i> H. Wendl.
14	Clusiaceae	<i>Chrysochlamys dependens</i> Planch. & Triana
15	Chrysobalanaceae	<i>Cordillera platycalyx</i> (Cuatrec.) Sothers & Prance
16	Cyatheaceae	<i>Cyathea squamipes</i> H. Karst.
17	Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.
18	Rubiaceae	<i>Elaeagia utilis</i> (Goudot) Wedd.
19	Lauraceae	<i>Endlicheria rubriflora</i> Mez
20	Lecytidaceae	<i>Eschweilera antioquiensis</i> Dugand & Daniel
21	Myrtaceae	<i>Eugenia ochrophloea</i> cf.
22	Fabaceae	<i>Fabaceae sp1</i>
23	Fabaceae	<i>Fabaceae sp2</i>
24	Rubiaceae	<i>Faramea oblongifolia</i> Müll. Arg.
25	Moraceae	<i>Ficus hartwegii</i> (Miq.) Miq
26	Primulaceae	<i>Geissanthus francoae</i> Lundell
27	Arecaceae	<i>Geonoma orbignyana</i> Mart.
28	Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i> (Schltdl.)
29	Rubiaceae	<i>Guettarda crispiflora</i> Vahl
30	Celastraceae	<i>Gymnosporia gentryi</i> Lundell.
31	Indeterminado	<i>Indeterminado</i>
32	Meliaceae	<i>Juglans neotropica</i> Diels
33	Magnoliaceae	<i>Magnolia hernandezii</i> (Lozano) Govaerts
34	Sabiaceae	<i>Meliosma occidentalis</i> Hemsl.
35	Melastomataceae	<i>Meriania antioquiensis</i> L. Uribe
36	Melastomataceae	<i>Miconia lehmannii</i> Cogn.
37	Monimiaceae	<i>Mollinedia tomentosa</i> (Benth.) Tul.
38	Solanaceae	<i>Solanaceae sp1</i>
39	Moraceae	<i>Morus insignis</i> Bureau
40	Myrtaceae	<i>Myrcia fallax</i> (Rich.) DC.
41	Myrtaceae	<i>Myrtaceae sp</i>
42	Moraceae	<i>Naucleopsis glabra</i> Spruce ex Pittier
43	Lauraceae	<i>Ocotea benthamiana</i> Mez
44	Lauraceae	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees
45	Lauraceae	<i>Ocotea sp2</i>
46	Lauraceae	<i>Ocotea sp1</i>
47	Araliaceae	<i>Oreopanax incisus</i> C.V. Morton
48	Rubiaceae	<i>Palicourea accetosoides</i> C.M. Taylor
49	Rubiaceae	<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth
50	Rubiaceae	<i>Palicourea violacea</i> (Aubl.) A. Rich
51	Protaceae	<i>Panopsis sp.</i>
52	Piperaceae	<i>Piper archeri</i> Yunck.

53	Sapotaceae	<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.
54	Rosaceae	<i>Prunus integrifolia</i> (C.Presl) Walp.
55	Actinidaceae	<i>Saurauia choriophylla</i> R.E. Schult. & G. Gut.
56	Siparunaceae	<i>Siparuna aspera</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.
57	Siparunaceae	<i>Siparuna conica</i> (Tul.) A.DC.
58	Acanthaceae	<i>Stenostephanus sanguineus</i> (Willd. ex Nees) Wassh.
59	Meliaceae	<i>Trichilia pallida</i> Sw
60	Moraceae	<i>Trophis caucana</i> (Pittier) C.C.Berg
61	Arecaceae	<i>Wettinia kalbreyeri</i> (Burret) R. Bernal
62	Solanaceae	<i>Witheringia solanacea</i> (L.) Miers

La distribución taxonómica de hábitos arbóreos revela una dominancia absoluta de árboles con 225 individuos, seguidos por palmas 83 individuos y helechos arbóreos con 20 individuos (Figura 3).

Figura 3.

Abundancia de individuos en la taxonomía del hábito arbóreo.



De las 17 especies registradas (Tabla 3), el *Anthurium cabrerense* Engl. se encuentra vulnerable según la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN, además *Macrolobium*

colombianum (Britton & Killip) Killip ex L. Uribe se identifica con Preocupación Menor. Las 15 especies restantes, no presentan categoría de amenaza evaluadas.

Tabla 3.

Riqueza del área de estudio para hábito herbáceo.

Nº de individuos	Familia	Especie
1	Acanthaceae	<i>Dianthera secunda</i> (Vahl) Griseb.
2	Acanthaceae	<i>Stenostephanus sanguineus</i> (Willd. ex Nees) Wassh.
3	Araceae	<i>Anthurium amoenum</i> Kunth & C.D. Bouché
4	Araceae	<i>Anthurium cabrerense</i> Engl.
5	Araceae	<i>Monstera obliqua</i> Miq.
6	Asteraceae	<i>Asteracea sp</i>
7	Athyriaceae	<i>Diplazium bogotense</i> (H. Karst.) Hieron.
8	Athyriaceae	<i>Diplazium sp</i>
9	Begoniaceae	<i>Begonia foliosa</i> Kunth
10	Begoniaceae	<i>Begonia urticae</i> L. f.
11	Costaceae	<i>Chamaecostus sp</i>
12	Fabaceae	<i>Macrolobium colombianum</i> (Britton & Killip) Killip ex L. Uribe
13	Indeterminado	<i>Indeterminado</i>
14	Indeterminado	<i>Indeterminado</i>
15	Melastomataceae	<i>Miconia sp1</i>
16	Solanaceae	<i>Solanum sp1</i>
17	Solanaceae	<i>Solanum sp2</i>

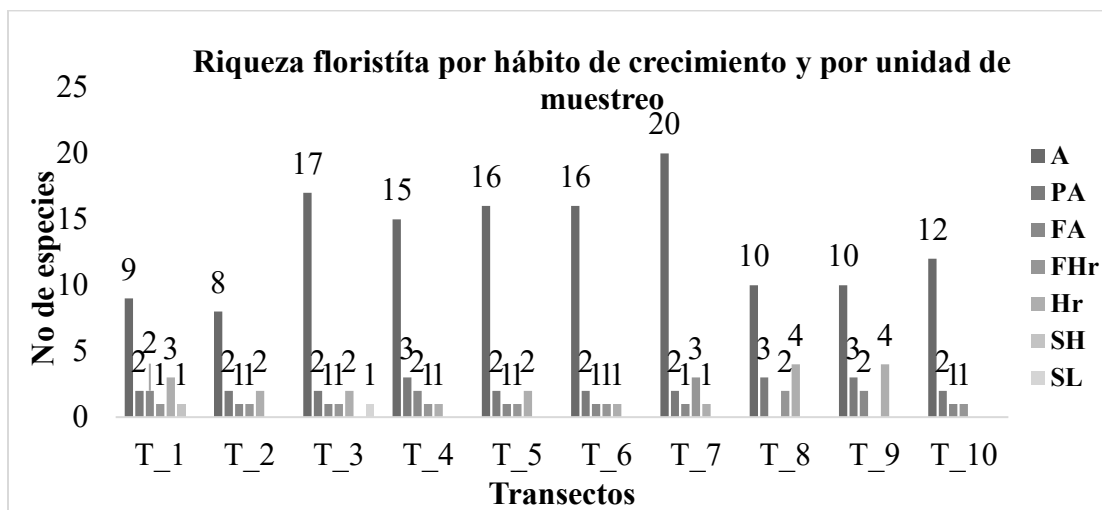
La riqueza por unidad de muestreo revela un promedio de 13,3 especies por cada 0,01 ha, el transecto T7 describe una mayor diversidad en el hábito arbóreo en la categoría árbol (A) con una riqueza de 20 especies de las 60 registradas, se destacan por su rareza *Calophyllum brasiliense* Cambess, una especie endémica *Magnolia hernandezii* (Lozano) Govaerts, por su abundancia *Faramea oblongifolia* Müll.Arg y *Palicourea angustifolia* Kunth. En el hábito arbóreo en la categoría palma (PA) se presentó una riqueza de cuatro especies; *Ceroxylon quindiuense* (H.

Karst.) H. Wendl, *Chamaedorea linearis* H.Wendl, *Geonoma orbignyana* Mart y *Wettinia kalbreyeri* (Burret) R. Bernal. En la categoría de helechos arbóreos (FA) se tiene una riqueza de dos especies *Alsophila erinacea* (H. Karst.) D.S. Conant y *Cyathea squamipes* H. Karst.

El hábito herbáceo obtuvo una Riqueza de 17 especies distribuidas en las categorías; herbáceas terrestres (Hr) con cuatro especies *Anthurium amoenum* Kunth & C.D. Bouché, *Anthurium cabrerense* Engl, *Begonia foliosa* Kunth y *Begonia urticae* L. f., en la categoría de Helechos herbáceos terrestres (FHr) con tres especies; *Diplazium bogotense* (H. Karst.) Hieron, *Diplazium sp* y *Macrolobium colombianum* (Britton & Killip) Killip ex L. Uribe, en la categoría de escandente herbáceo (SH) una especie que no se pudo determinar y en la categoría de escandente leñosos una especie de la cual solo se pudo determinar el género *Solanum sp* como se puede observar en la (Figura 4).

Figura 4.

Riqueza florística por hábito de crecimiento y por unidad de muestreo.



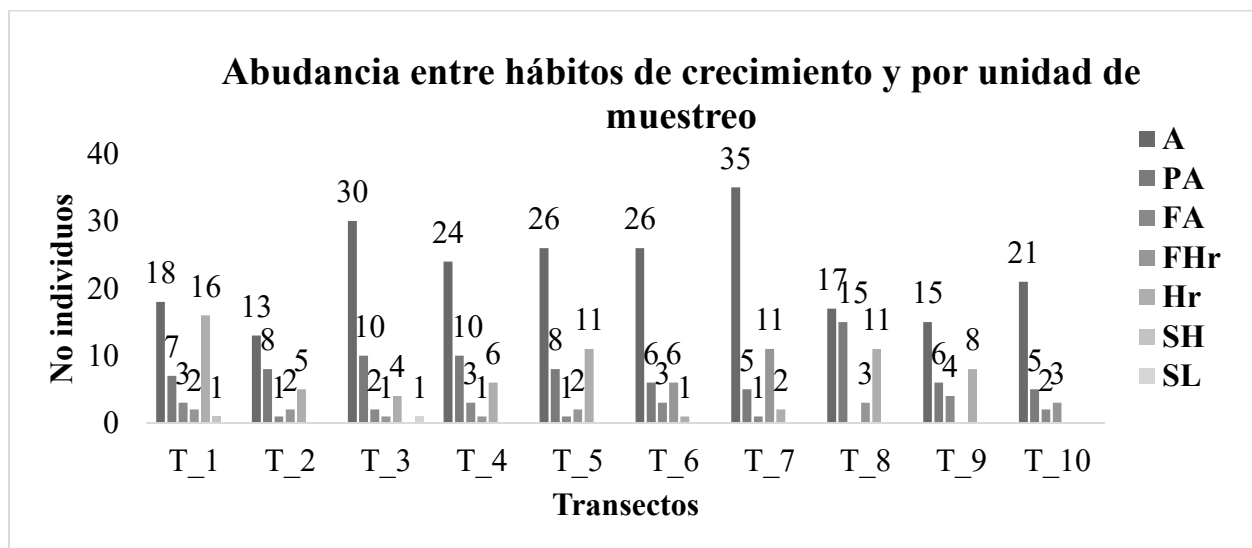
La abundancia de individuos por transecto refleja una mayor distribución homogénea en los hábitos de crecimiento, El hábito arbóreo presento una abundancia de 328 individuos en 0,1

ha, donde el transecto T7 obtiene una mayor abundancia con 41 individuos. El hábito arbóreo en la categoría árbol (A), presenta una abundancia promedio de 22,5 individuos en cada 0,01 ha, en la categoría palma (PA) presenta una abundancia en promedio de 8,8 individuos en cada 0,01 ha y la categoría helechos arbóreos (FA) un promedio de 2,5 individuos cada 0,01 ha.

En el componente herbáceo se obtuvo una abundancia de 97 individuos en 0,001 ha de los cuales la especie más abundante fue *Anthurium amoenum* Kunth & C.D. Bouché con 24 individuos seguida por *Begonia foliosa* Kunth con 16 individuos. para la categoría herbáceos terrestre se presentó un promedio de 7,1 individuos cada 0,0001 ha, para la categoría helechos herbáceos terrestres se presentó un promedio de 3,4 individuos cada 0,0001 ha y para las categorías escándete herbáceo (SH) y escándete leñosos (SL) se registró un individuo para cada habito como se observa en la (Figura 5).

Figura 5.

Abundancia entre hábitos de crecimiento y por unidad de muestreo.



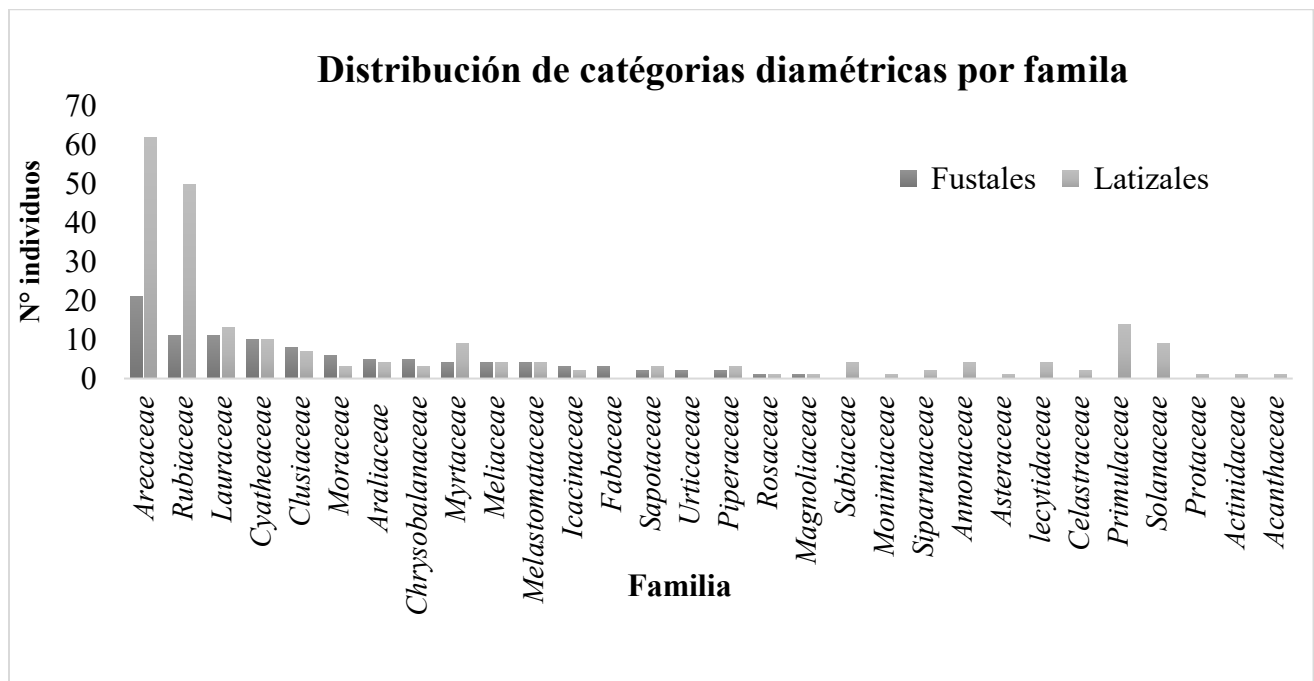
La Figura 6, describe la distribución de abundancia por categoría diamétrica de 30 familias, donde se evidencia una marcada predominancia de los latizales frente a los fustales, siendo más

relevante la familia Arecaceae con la mayor abundancia en latizales con respecto a fustales (62 y 21), seguidas por las familias Rubiaceae (50 y 11), Lauracea (13 y 11) Cyatheaceae (10 y 10) y Clusiaceae (7 y 8). La mayor parte de las familias presentan abundancias con menos de 10 individuos.

El comportamiento en la relación de la abundancia de fustales y latizales determina que las familias con mayor cantidad de individuos fustales están presentes en los latizales, sin embargo, las familias Primulaceae con 14 individuos, Solanaceae (9), Annonaceae (4) y Sabiaceae (4) representan el 13,9% de los latizales registrados y el 9,5% del total de individuos registrados del estudio, lo que puede indicar que estas familias representan una parte de la regeneración natural.

Figura 6.

Distribución de abundancia de familias por categoría diamétrica para hábito arbóreo.

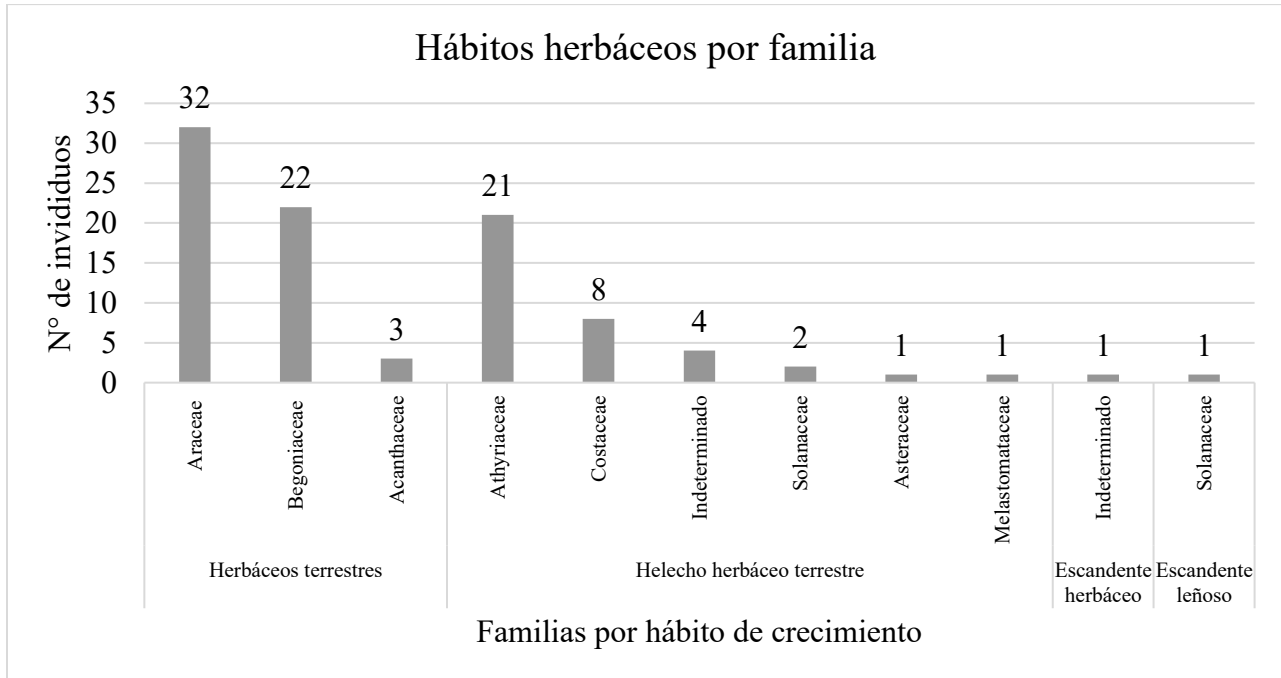


La familia con mayor representatividad en el hábito herbáceo terrestre es la Araceae con 32 individuos y Begoniaceae con 22 individuos, siendo las más abundantes. Las Athyriaceae con

21 individuos son helechos terrestres. El resto de las familias tienen poca representación con < 8 individuos. Se describen algunas especies escandentes como Melastomataceae y Solanaceae.

Figura 7.

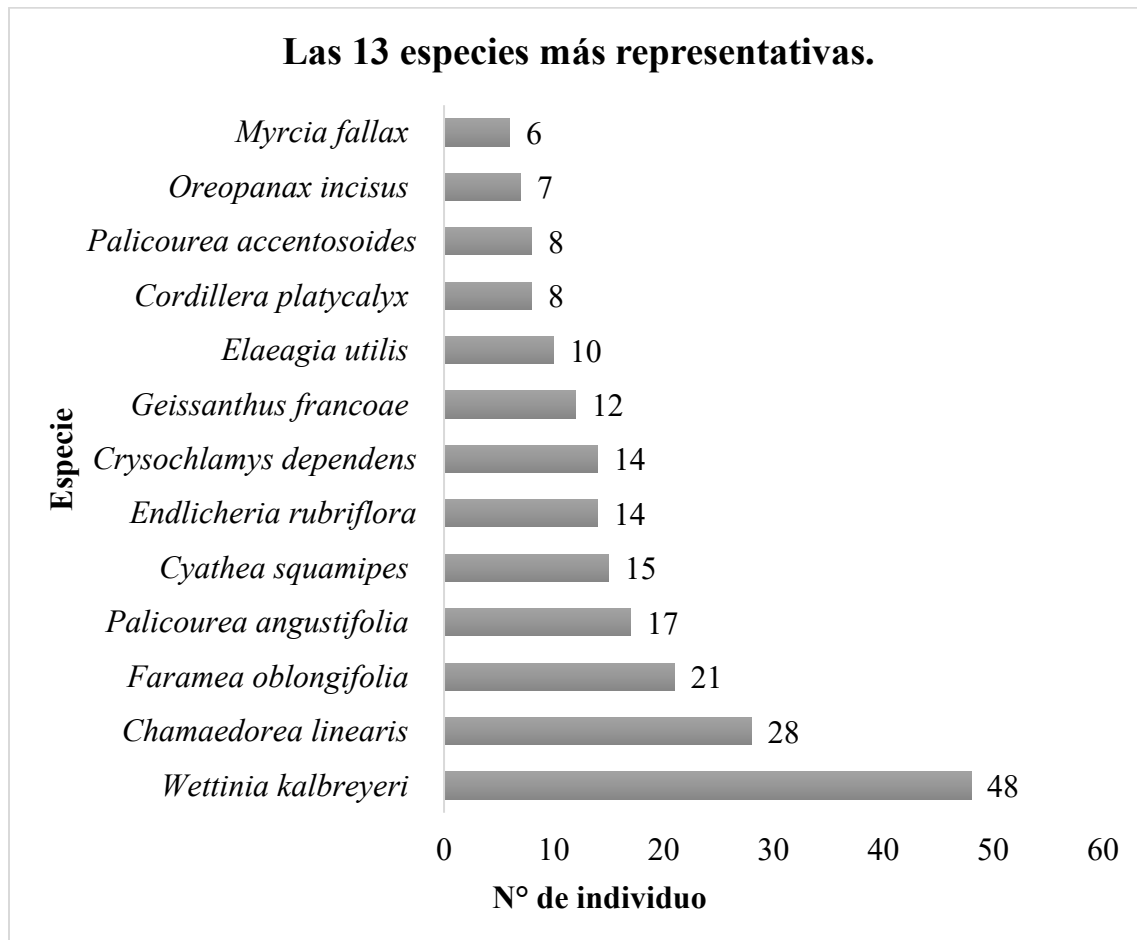
Distribución de abundancia de familias para hábitos herbáceos.



En la Figura 8, se observa que la especie más representativa fue *Wettinia kalbreyeri* con 48 individuos, mientras *Chamaedorea linearis* presentó un registro de 28, acompañada de *Faramea oblongifolia* Müll.Arg con 21 individuos. La especie *Palicourea angustifolia* con 17 individuos, en cuanto a los helechos arbóreos, *Cyathea squamipes* H. Karst. presentó el mayor registro con 15 individuos.

Figura 8.

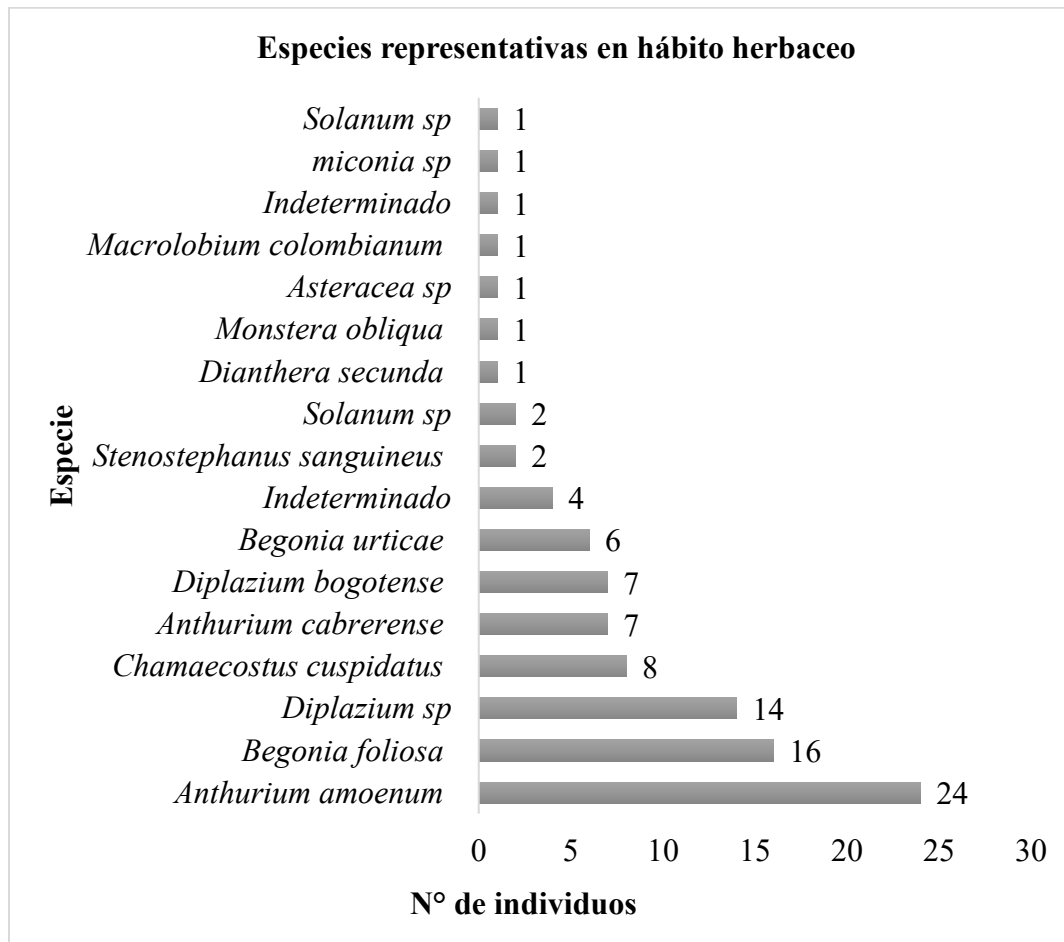
Distribución de individuos por especies representativas para hábito arbóreo.



En la Figura 9, *Anthurium amoenum* con 24 registros es la especie más representativa y presenta un hábito herbáceo terrestres, seguido de *Begonia foliosa* con 16 individuos y para los helechos herbáceos terrestres, la especie *Diplazium sp* registró la mayor abundancia con 14 individuos.

Figura 9.

Abundancia de especies representativas para hábito herbáceo.



4.1.2 Diversidad Alfa

En la Tabla 4, el índice de Shannon (H') describe valores entre transectos de 2,2 y 2,9, y el valor promedio del RAP 2,6 es más alto porque integra todas las especies del área, evidenciando el aporte de especies raras distribuidas en diferentes transectos, esto indica una diversidad moderada-alta. La mayor diversidad está en T7 con un valor de 2,9, mientras que los valores más bajos son T2 con 2,2 y T8 con 2,2, lo que muestra sitios con dominancia de unas pocas especies.

El índice de Simpson ($1-D$) describe valores en transectos que varían de 0,8 y 0,9. El valor promedio del RAP es 0,9. Todos los transectos presentan alta diversidad porque los valores cercanos son cercanos a 1. El T5 con un valor de 0,9 y T7 con un valor de 0,9 presentan especies

con mayor abundancia, en contraste con T8 con un valor de 0,8 muestra mayor dominancia de una especie.

El Índice de Margalef ronda con valores de transectos en 3,2 y 6,1, T7 con un valor de 6,1 y T4 con un valor de 5,2 describen la mayor riqueza local o más especies presentes. Los transectos T2 con un valor de 3,2 y T1 con un valor de 3,6 tienen riqueza más baja. El valor promedio del RAP es de 4,5, es muy alto debido a la acumulación de la riqueza total de la zona, lo que confirma que la diversidad en parcelas pequeñas es solo una parte del total. Para el cociente de mezcla, los valores en transectos son de 0,4 y 0,6, describen cuántos individuos corresponden en promedio a cada especie. En los transectos, la diversidad es más equilibrada porque T9 con un valor de 0,6 y T7 con un valor de 0,5 tienden a tener menos especies por número de individuos, lo que conlleva a mayor dominancia relativa. El RAP presenta un valor promedio de 0,5, describe una altísima diversidad global porque se registraron muchas especies en relación con el número de individuos.

Tabla 4.

Diversidad Alfa por transecto y área de estudio (RAP) para el hábito arbóreo.

Diversidad Alfa	D (Shannon)	D (Simpson)	D (Margalef)	Cociente de mezcla
T1	2,39	0,89	3,6	0,46
T2	2,23	0,87	3,2	0,5
T3	2,74	0,91	5,1	0,47
T4	2,79	0,92	5,26	0,54
T5	2,80	0,93	5,1	0,54
T6	2,7	0,91	4,94	0,5
T7	2,95	0,93	6,19	0,58
T8	2,23	0,86	3,46	0,4
T9	2,58	0,91	4,34	0,6
T10	2,56	0,91	4,2	0,53
Promedio/Desvest	2,56 (0,24)	0,9 (0,02)	4,64 (0,93)	0,51 (0,05)

En el índice de Shannon (H') para el hábito herbáceo presenta valores en los transectos de 0,10 y 1,50, con un promedio de 0,9 con una desviación estándar de 0,47, esto indica que la comunidad tiene diversidad baja a moderada, el valor más alto es de 1,5 en T8 y refleja mayor heterogeneidad de especies, mientras que el valor más bajo es de 0,1 en T10, lo que describe una baja dominancia de especies (Tabla 5).

El índice de Simpson ($1-D$) tiene valores entre 0,10 y 0,71, con un promedio de 0,49 con desviación estándar de 0,22, describe una distribución diferente de abundancias. Los transectos T3 con un valor de 0,66, T8 con un valor de 0,7 y T9 con un valor de 0,7 describen una mayor similitud en la composición. Para el índice de Margalef (R) los valores se encuentran en el rango de T10 con un valor de 0,1 y T8 con un valor de 3,3, describiendo una riqueza baja a media pero el valor promedio es de 0,95 con una desviación estándar de 0,59. El cociente de mezcla presentó un valor promedio de 0,37 con desviación estándar de 0,12, esto describe que existe una especie diferente cada tres individuos en el muestreo, los valores se encuentran en un rango de T5 con 0,23 y T3 con 0,66, lo que describe un nivel medio de diversidad en la estructura del hábito herbáceo.

Tabla 5.

Diversidad Alfa para cada transecto y el Área de Estudio (RAP) para el hábito herbáceo.

Diversidad Alfa	D (Shannon)	D (Simpson)	D (Margalef)	Cociente de mezcla
T1	1,22	0,57	1,6	0,31
T2	0,95	0,57	1,02	0,42
T3	1,24	0,66	1,67	0,66
T4	0,41	0,24	0,51	0,28
T5	0,83	0,47	0,77	0,23
T6	0,41	0,24	0,51	0,28
T7	1,3	0,71	1,16	0,3
T8	1,5	0,7	1,8	0,42
T9	1,3	0,7	0,37	0,5
T10	0,1	0,1	0,1	0,33

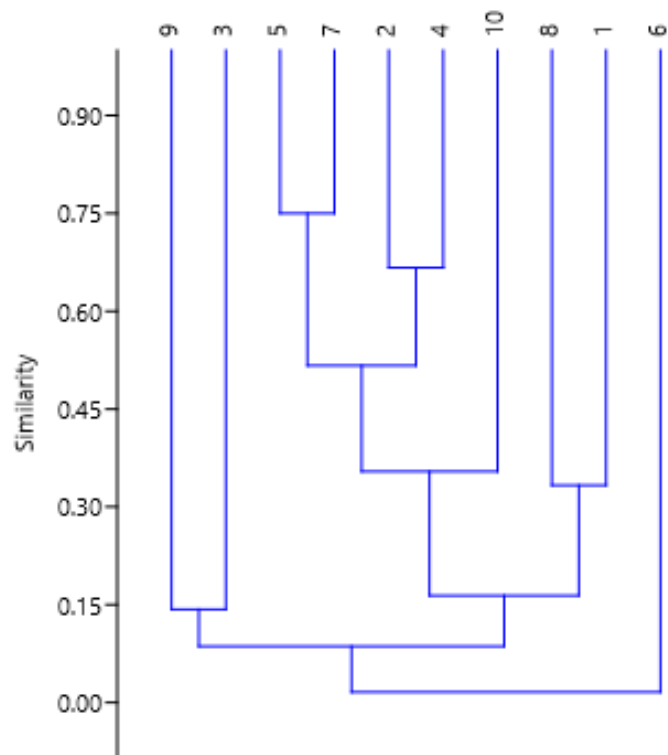
Promedio/Desvest	0,9 (0,47)	0,49 (0,22)	0,95 (0,59)	0,37 (0,12)
-------------------------	------------	-------------	-------------	-------------

4.1.3 Diversidad Beta

La Figura 10 y Figura 11 muestran la similitud en la composición de especies arbóreas entre los transectos. Las ramas que se unen más cerca de la parte superior o a 1, indican mayor similitud. La Figura 9, la diversidad beta del hábito arbóreo, evaluada mediante el índice de Jaccard, revela una heterogeneidad espacial moderada entre los 10 transectos. El dendrograma muestra tres niveles de similitud: Baja similitud: Los transectos T6 y T7 se unen en una rama muy baja (similitud ~0,30–0,35), lo que indica que comparten pocas especies, similitud media: Los transectos T4 y T9 se agrupan con similitud ~0,40, lo que refleja una mayor convergencia en su composición florística y muy baja similitud: Los transectos T1 y T10 están en ramas separadas, con similitud < 0,30.

Figura 10.

Dendrograma de similitud de Jaccard para el hábito arbóreo

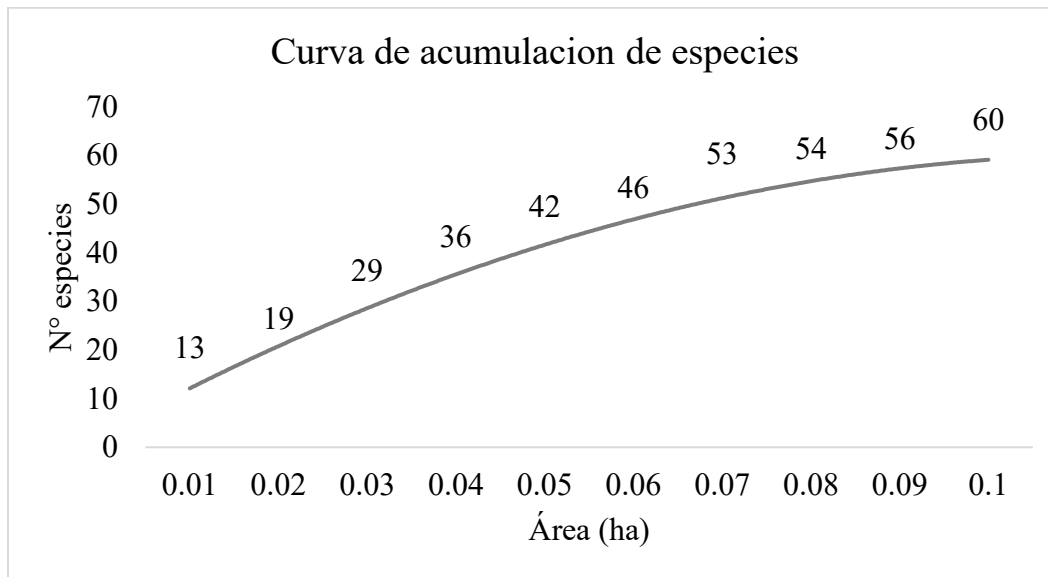


4.2 Curva de acumulación de especies área

La pendiente pronunciada, con un incremento acelerado en el número de especies de 13 a 42, indica una alta heterogeneidad florística en espacios reducidos (Figura 12). La curva se comienza a estabilizar alcanzando unas 60 especies en 0,1 ha, con un incremento después de las 0,007.

Figura 12.

Acumulación de especies por área



4.3 Estructura física

Se realizó un análisis para determinar la estructura vertical y horizontal para individuos con DAP >10 cm y para el caso de los individuos con DAP entre 2,5 cm a 9,9 m se realizó un análisis de regeneración natural temprana con el fin de identificar la Regeneración Natural Relativa (RNR).

4.3.1 Estructura horizontal

Las variables de estructura horizontal (Tabla 6) muestran un DAP promedio de 22,28 cm y una altura promedio de 17,44 m en los fustales. El rango de DAP osciló entre 2,5 cm y 104,2 cm, mientras que la altura varió entre 5,1 m y 25,3 m.

Tabla 6.

Promedios de altura y DAP entre latizales y fustales para hábitos arbóreos.

Transecto	Fustal		Latizal	
	DAP (cm)	Altura (m)	DAP (cm)	Altura (m)
1	18,4	10,5	4,3	5,1
2	25,1	13,8	5,5	5,4
3	19,7	15,6	5,1	6,9
4	16,9	12,8	5,3	5,5

5	24,8	18,5	5,2	6,2
6	27,0	20,8	5,1	6,2
7	17,3	18,8	5,0	6,5
8	25,9	22,0	4,5	6,0
9	22,7	23,5	5,5	6,8
10	25,2	18,1	5,6	7,1
Promedio	22,3	17,4	5,1	6,2

La biomasa total estimada fue de 536,9 ton/ha, de la cual 513,9 ton/ha corresponden a fustales y 23,0 ton/ha a latizales. Esto representa que el 95,7% de la biomasa arbórea está concentrada en los individuos con DAP \geq 10 cm. (Tabla 7).

Tabla 7.

Estimación de biomasa y estructura forestal por transecto para hábitos arbóreos.

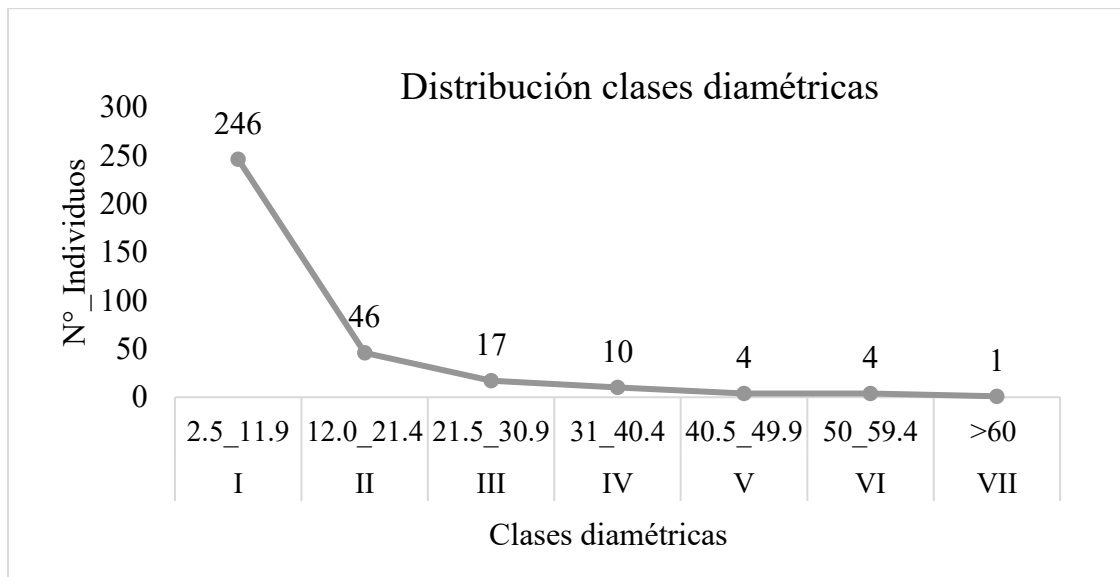
Estrato	Transecto	Área_basal_m²	Volumen_Total_m³	Biomasa_ton_ha
Fustal	1	0,4	4,0	262,9
Fustal	2	1,0	18,6	963,8
Fustal	3	0,6	8,9	557,0
Fustal	4	0,3	2,9	200,4
Fustal	5	0,7	11,7	710,8
Fustal	6	0,8	13,8	838,3
Fustal	7	0,4	5,3	364,1
Fustal	8	0,3	5,5	350,3
Fustal	9	0,4	7,6	470,2
Fustal	10	0,5	6,9	420,8
Total		5,4	85,1	513,9
Latizal	1	0,01	0,1	8,5
Latizal	2	0,01	0,1	12,8
Latizal	3	0,1	0,4	31,8
Latizal	4	0,1	0,3	24,2
Latizal	5	0,1	0,2	22,1
Latizal	6	0,1	0,3	28,5
Latizal	7	0,1	0,3	28,9
Latizal	8	0,1	0,3	23,3
Latizal	9	0,01	0,3	22,4

Latizal	10	0,1	0,3	27,9
Total		0,5	2,6	23,0

Para esta investigación se definieron siete clases diamétricas que categorizan individuos con DAP entre 2,5 y 104,2 cm (Figura 13), donde cada clase diamétrica cuenta con una amplitud de 9,4 cm, en la clase VII se agruparon individuos con DAP > 60 cm. La distribución de clases diamétricas muestra un predominio marcado de individuos en la clase uno de 2,5 a 11,9 cm, disminuyendo progresivamente hacia las clases mayores, hasta alcanzar un solo individuo en la clase > 60 cm. Se identifica un patrón de J invertida, lo que indica que este bosque presenta regeneración natural activa.

Figura 13.

Clases diamétricas para hábito herbáceo.



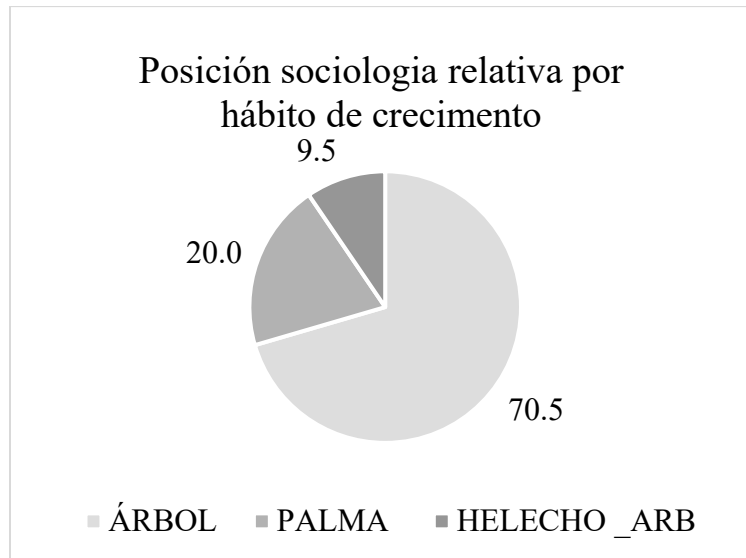
4.3.2 Estructura vertical

La posición sociológica relativa por hábito describe en la figura que para el hábito de crecimiento arbóreo en la categoría árbol representa el 70,5 %, para el hábito palma con un 20,0

% y el hábito helecho arbóreo con un 9,5 %, lo que muestra la representatividad de la categoría árbol en la estructura vertical en todos los estratos como se observa en la (Figura 14).

Figura 14.

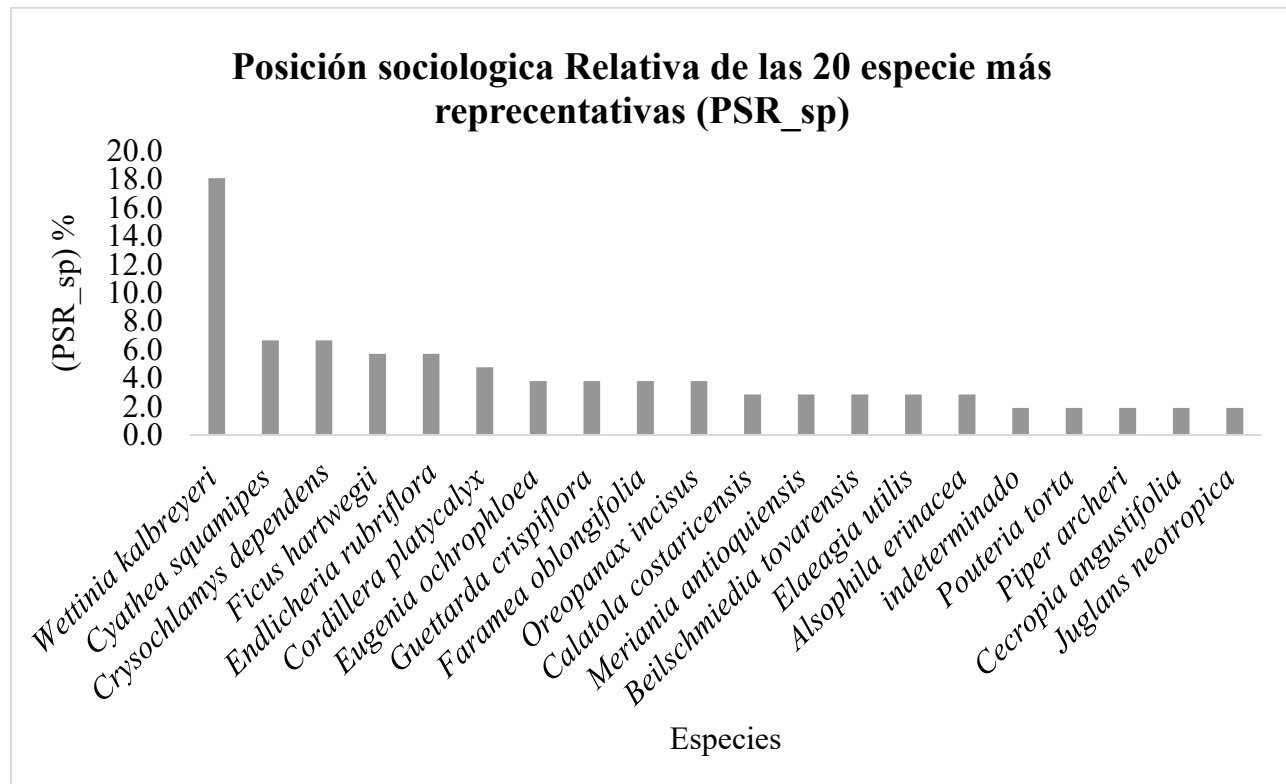
Posición sociológica relativa por hábito de crecimiento.



La posición sociológica relativa de las 20 especies de fustales (Figura 15) con mayor valor son indicadores de la representatividad en la estructura vertical del bosque, se identifica que la especie *Wettinia kalbreyeri* es la especie con mayor valor 18,1 % de PSR. Lo que indica que es la especie que más destaca en la estructura vertical del bosque, al estar presente en todos los estratos, también se destacan las especies *Cyathea squamipes* y *Chrysochlamys dependens*, con valores entre 6,6%, seguidas de especies como *Endlicheria rubriflora* y *Ficus hartwegii* con 5,7%. Se resalta que el 53,2% de las especies analizadas tiene valores de posición sociológica > 2% lo cual indica la representatividad de estas especies en la estructura vertical.

Figura 15.

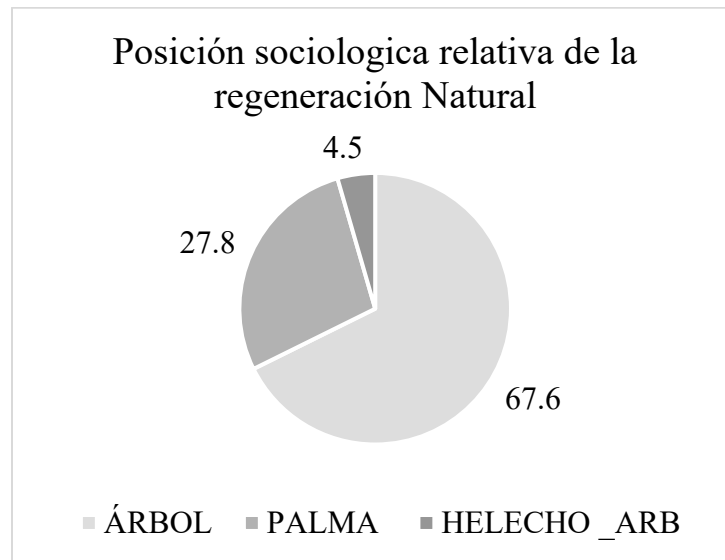
Posición Sociológica Relativa de las 20 especies más representativas del estudio



La posición sociológica relativa de la regeneración natural para el hábito arbóreo se describe en la categoría hábito árbol que representa el 67,7 % , para la categoría palma con un 27,8 % y para la categoría helecho arbóreo con un 4,5 %, lo que muestra la representatividad de la categoría árbol en la estructura vertical, un aumento en el hábito palma y una disminución en el hábito helecho arbóreo en comparación con la estructura vertical por especie en los fustales como se observa en la Figura (16).

Figura 16.

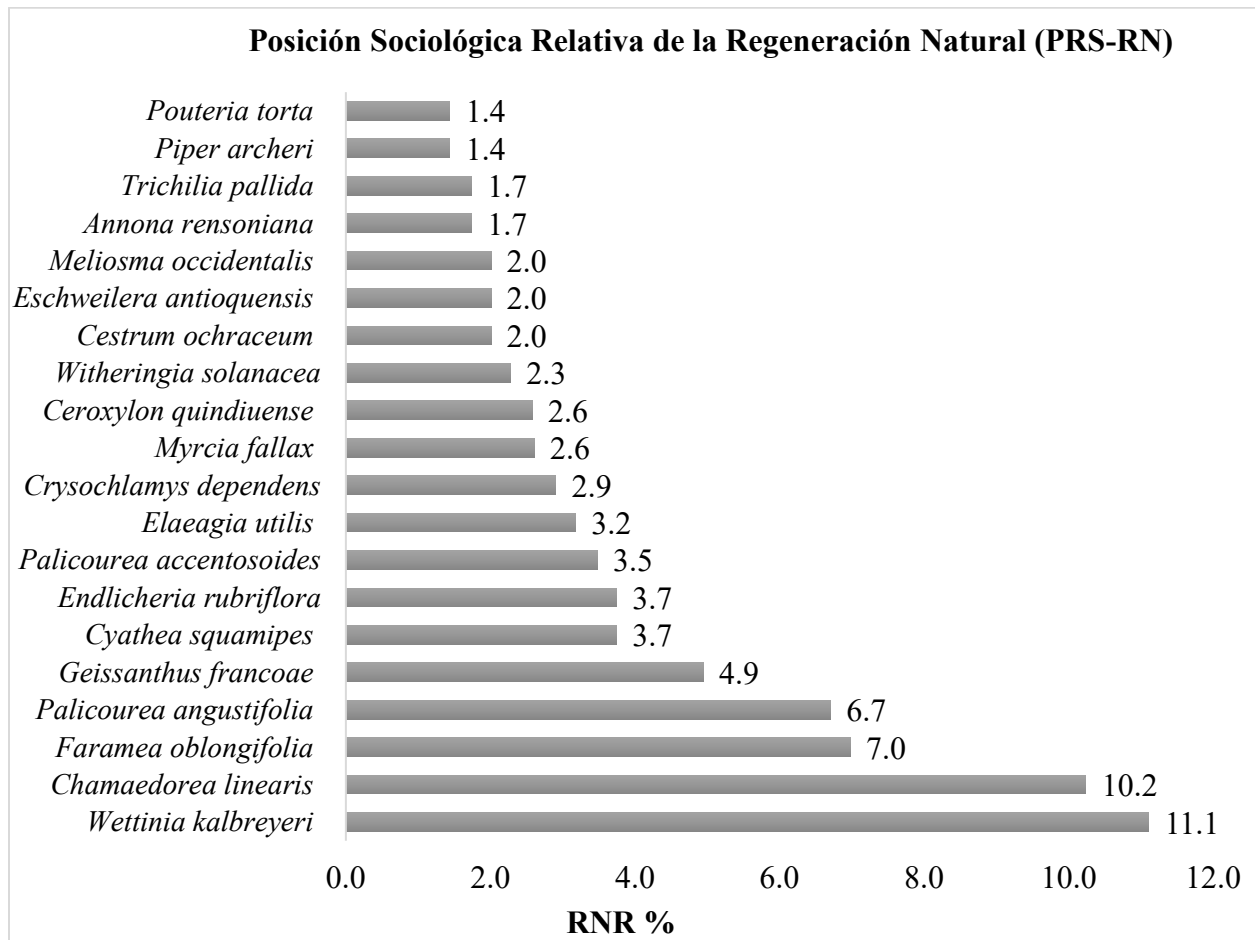
Posición sociológica por relativa de la regeneración natural por hábito de crecimiento.



Se analizó la Posición Sociológica Relativa de la Regeneración Natural (PSR-RN) de las 20 especies que mayor valor tienen y que determinan la estructura vertical de la regeneración natural en las condiciones actuales del ecosistema (Figura 17). Se destacan la macana *Wettinia kalbreyeri* 13% y *Chamaedorea linearis* 12,1 % las cuales son las especies con mayor valor de PSR-RN, seguidas por *Faramea oblongifolia* y *Palicourea angustifolia* con 7,6% y *Geissanthus francoae* con un 5,4%. El 76% de las especies registradas en los latizales tienen valores < 1,5 % de PSR-RN, lo que indica una alta diversidad en la estructura vertical de la regeneración natural temprana.

Figura 17.

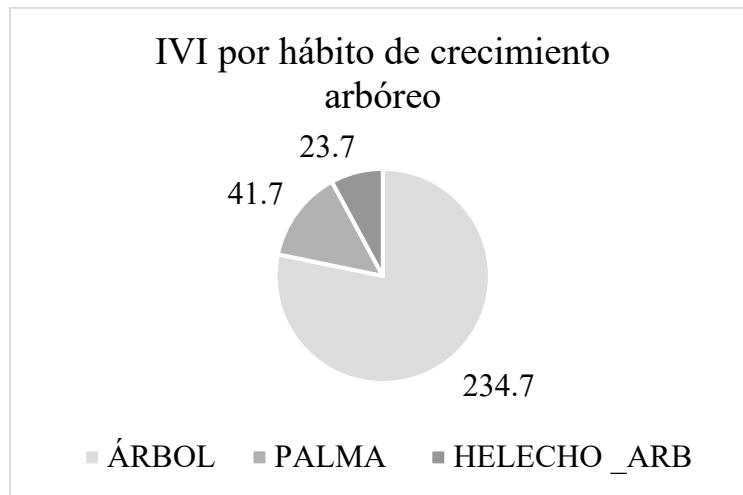
Posición Sociológica Relativa de las 20 especies más representativas del estudio.



El índice de valor de importancia (IVI) para el hábito de crecimiento arbóreo indica que la categoría árbol representa el 234,7 %, para la categoría palma un 41,7 % y para la categoría helecho arbóreo con un 23,7 %, lo cual describe el peso ecológico que tiene la categoría árbol sobre las demás categorías en el hábito arbóreos como se describe en la (Figura 18).

Figura 18.

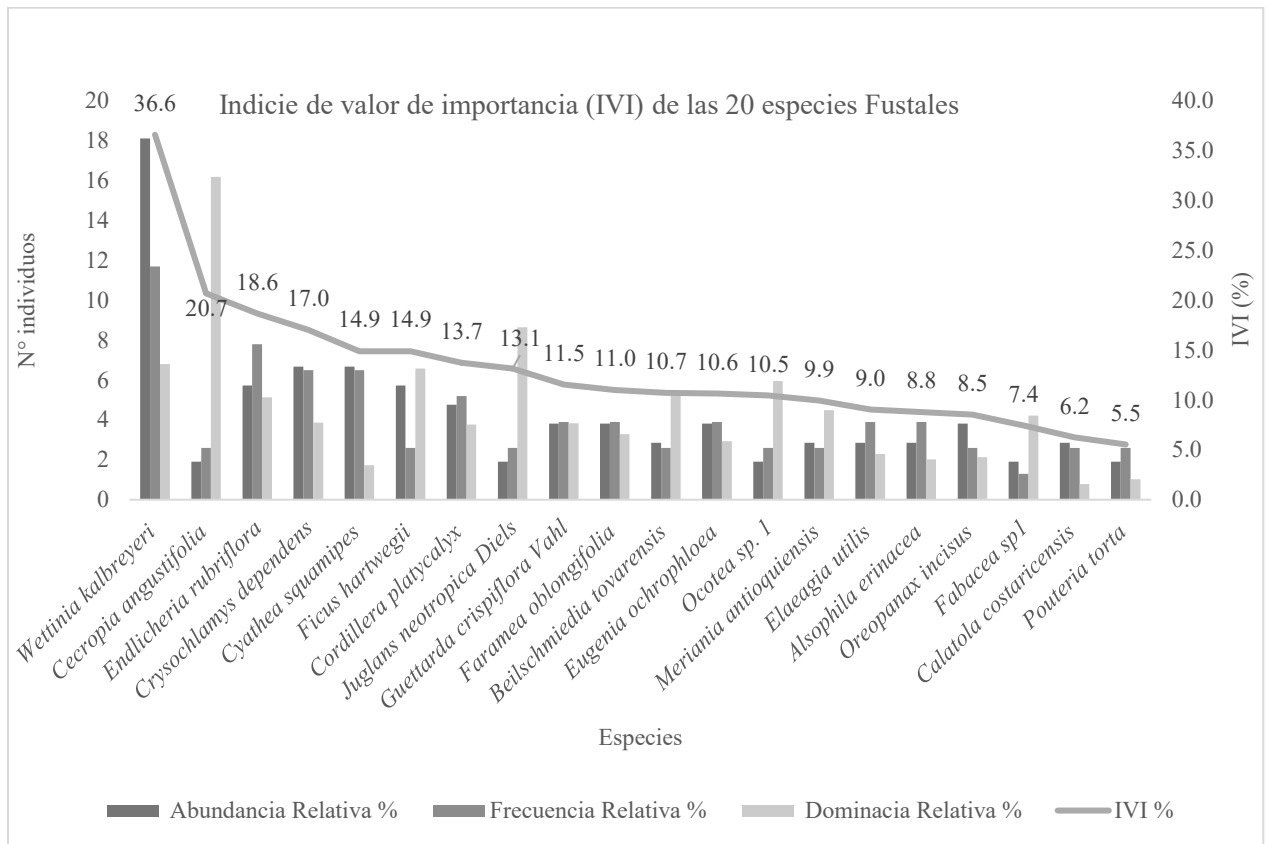
Distribución del IVI por hábito de crecimiento arbóreo.



El Índice de Valor de Importancia (IVI) mostró que *Wettinia kalbreyeri* fue la especie dominante (36,6%), seguida por *Cecropia angustifolia* (20,7%), *Endlicheria rubriflora* (18,6%) y *Chrysochlamys dependens* (17,0%). Las especies con representación intermedia como la *Cyathea squamipes*, *Ficus hartwegii*, *Cordillera platyclada* y *Juglans neotropica*, con valores de IVI que oscilan entre 13 y 15% cumplen un papel de conformación de dosel, portando la heterogeneidad en la estructura y diversidad de nichos ecológicos.

Figura 19.

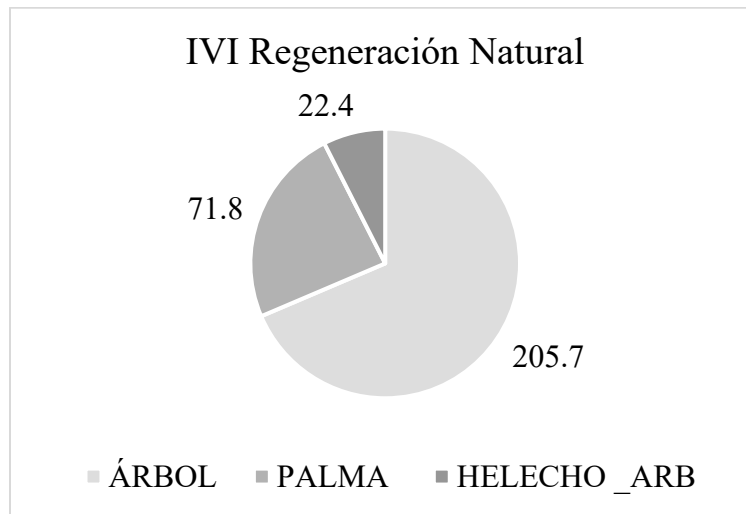
Índice de valor de importancia para las 20 especies de fustales más representativos.



En la Figura 20, el índice de valor de importancia para la regeneración natural en el hábito de crecimiento arbóreo en la categoría árbol representa el 205,7 %, para la categoría palma un 71,8 % y en la categoría helecho arbóreo un 22,4 %, lo cual describe el peso ecológico de la categoría árbol sobre las demás categorías arbóreas. en comparación al IVI de la estructura vertical de los adultos, se observa que hay una mejor representación de la categoría palma, aumentando un 30%.

Figura 20.

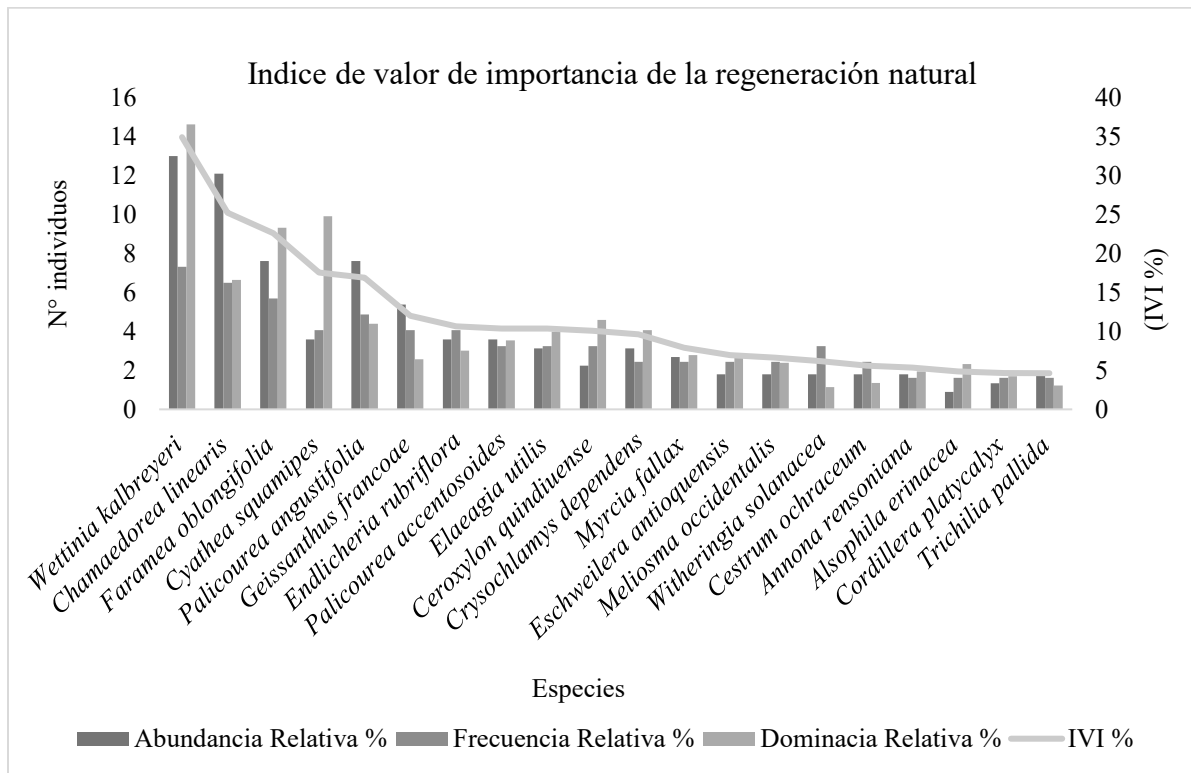
Distribución del IVI en la regeneración natural para el hábito de crecimiento arbóreo.



En el índice de valor de importancia para las 20 especies de la regeneración natural más representativas, lo lidera la especie con mayor peso ecológico es *Wettinia kalbreyeri* (14%) presentando relevancia ecológica tanto en la categoría fustal como en la regeneración natural (Figura 21). En un segundo lugar las especies *Chamaedorea linearis* (12,8%) y *Faramea oblongifolia* (11,5%), se destacan como especies claves en la dinámica del subdosel y las especies de menos importancia relativa son *Trichilia pallida*, *Cordillera platyclada* y *Alsophila erinacea* presentan los IVI más bajos (<5%), su presencia asegura la heterogeneidad florística.

Figura 21.

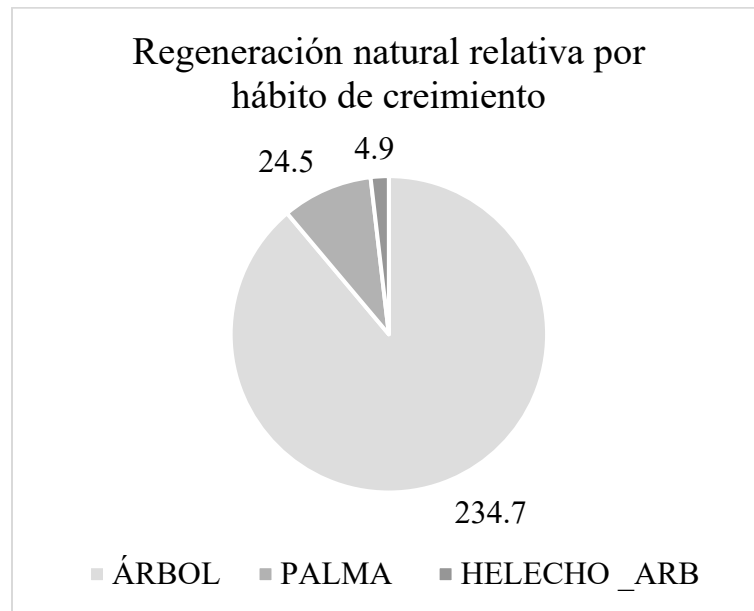
Índice de valor de importancia de la regeneración natural para las 20 especies más representativas.



En la Figura 22, la regeneración natural relativa para el hábito arbóreo describe una mayor representación de individuos para la categoría árbol con un 234,7 %, lo que refleja el promedio de la suma de los valores relativos de abundancia, frecuencia y posición sociológica, para esta categoría de crecimiento presenta una mayor representatividad, para la categoría de palma con 24,5 % y helechos arbóreos con 4,9 %.

Figura 22.

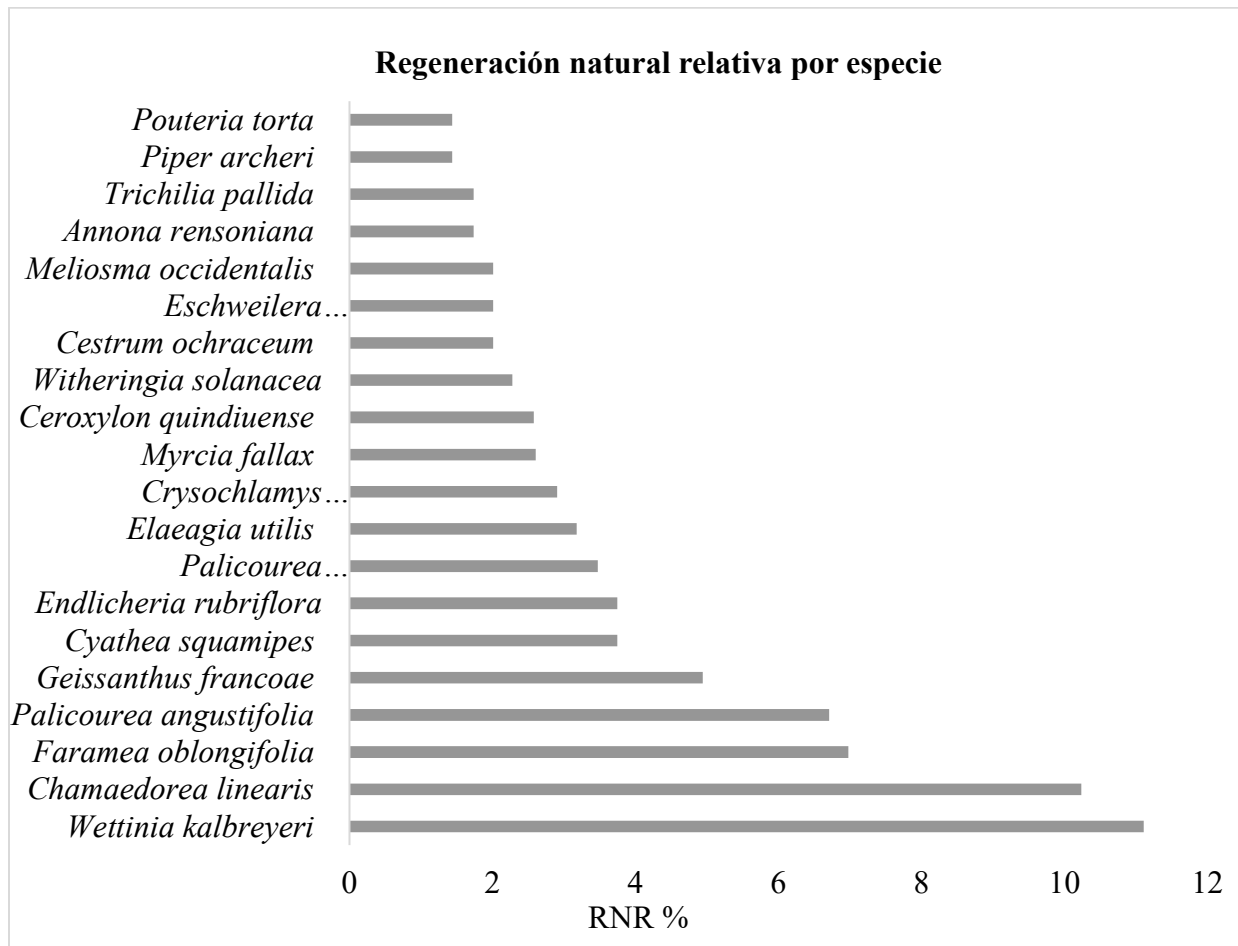
Descripción de la regeneración natural relativa por categoría de crecimiento en hábito arbóreo.



La regeneración natural relativa (Figura 23) describe un claro dominio de *Wettinia kalbreyeri* con un (11,1%), *Chamaedorea linearis* con un (10,2%) y *Faramea oblongifolia* (7,0%), con valores intermedios aparecen *Palicourea angustifolia* (6.7%), *Geissanthus francoae* (4,9%) y *Cyathea squamipes* (3,7%). La mayoría de las especies registraron valores inferiores al 4%, lo que indica que la regeneración presenta más diversidad en el dominio de la regeneración natural.

Figura 23.

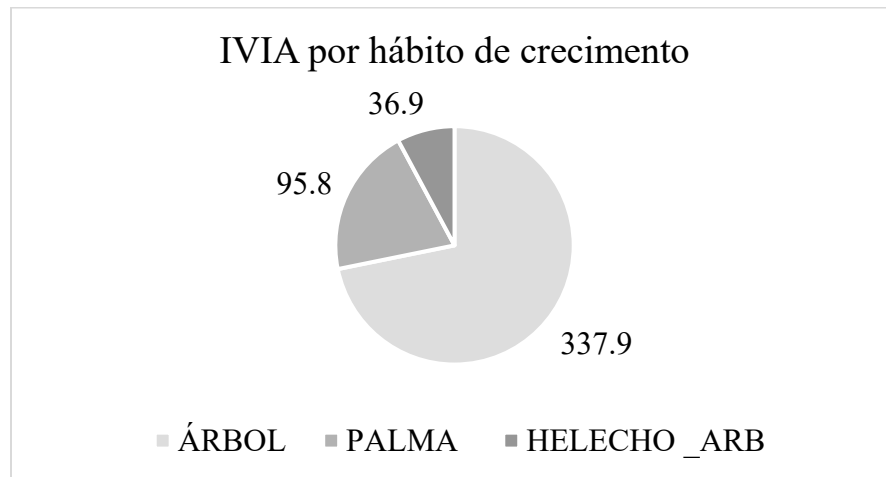
Regeneración Natural relativa de las 20 especies de fustales más representativas.



En la Figura 24, el índice de valor de importancia amplificado demostró una mayor representación para la categoría árbol con un 337,9 %, lo que refleja la suma del índice de valor de importancia, la posición sociológica relativa y la regeneración natural relativa para esta categoría de crecimiento, en la categoría palma con un 95,8 %, y para la categoría de helechos arbóreos un 36,9 %, lo cual permite identificar la relevancia de cada hábito de crecimiento en la estructura de la vegetación.

Figura 24.

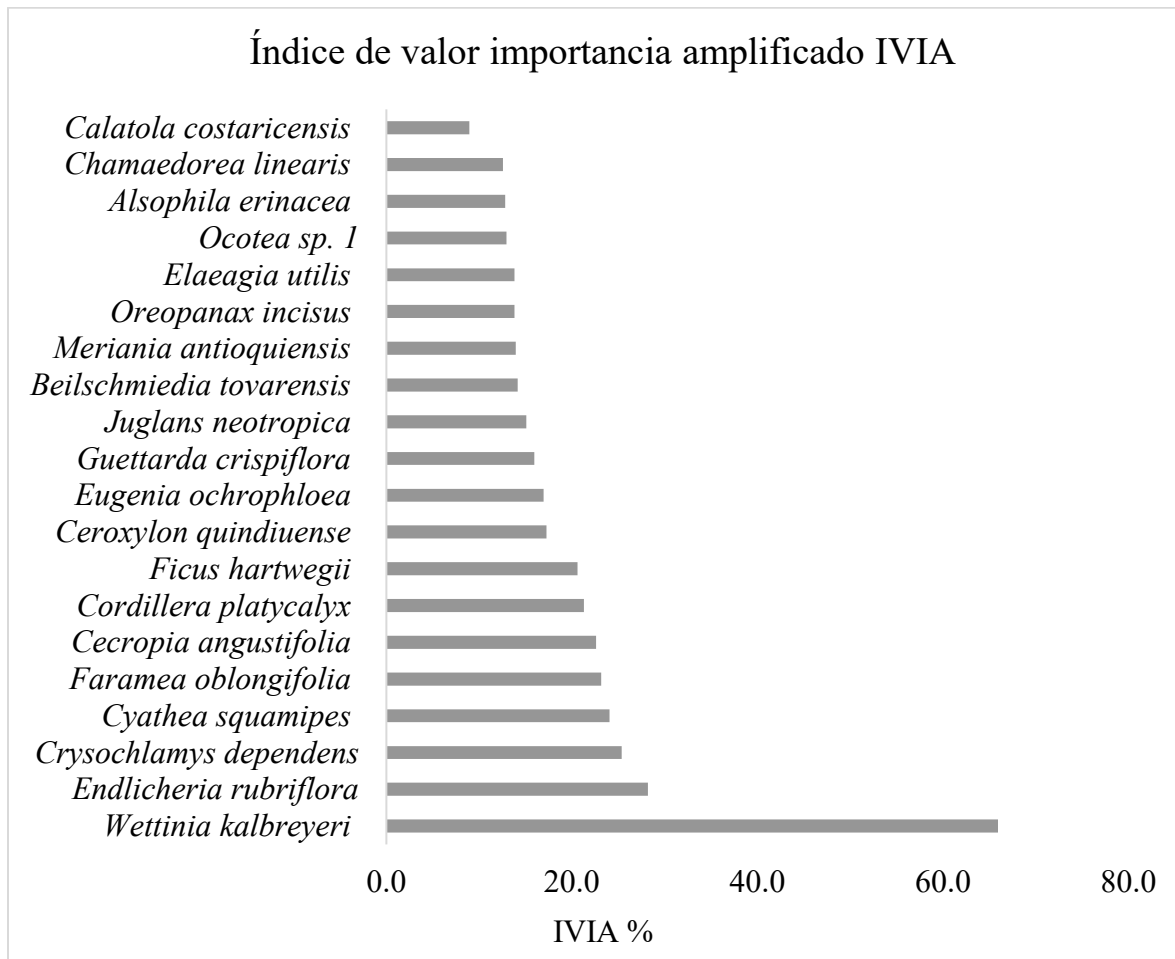
Descripción del índice de importancia ecológico ampliad por categoría de crecimiento en hábito arbóreo.



El Índice de Valor de Importancia Amplificado (Figura 25), evidenció una marcada importancia ecológica de *Wettinia kalbreyeri* 65,9%, especie que sobresale ampliamente sobre las demás y constituye la principal especie estructural del bosque. Seguida por *Endlicheria rubriflora* 28,2%, *Chrysochlamys dependens* 25,4% y *Cyathea squamipes* 24,1%, además otras especies como *Faramea oblongifolia* (23,1%), *Cecropia angustifolia* (22,6%), *Cordillera platycalyx* (21,3%) y *Ficus hartwegii* (20,6%) también muestran valores relevantes, representando acompañantes estructurales. El 56,1% las especies oscilan entre 5 a 16%.

Figura 25.

Índice de valor de importancia amplificado para las 20 especies más representativas en el estudio.



El perfil de vegetación (Figura 26) ilustra la distribución vertical del bosque andino, además representa los hábitos de crecimiento arbóreos y herbáceos, una transición de individuos emergentes hasta estratos inferiores de regeneración. En la (Tabla 8) se listan las especies representativas del perfil vertical, el hábito arbóreo está representado por las especies más abundantes del muestreo, la especie *Oreopanax incisus* sobresale con una altura de 14 m, seguida de *Endlicheria rubriflora* con una altura de 13 m, contribuyendo a la construcción del dosel.

Se observa especies que construyen un sotobosque variado, las palmeras como *Wettinia kalbreyeri* con una altura de 9 m y *Chamaedorea linearis* con una altura de 7 m. Además, el estrato está acompañado de árboles de menor tamaño y copas más compactas, como *Cyathea squamipes*

con 8 m de altura, *Myrcia fallax* con 6 m y el género *Palicourea* con 5 m de altura, formando un estrato arbóreo intermedio en el espacio vertical.

El estrato bajo, compuesto por hábitos herbáceos, registró una abundancia total de 97 individuos en un área muestreada de 0,001 ha (10 subcuadrantes de 1×1 m). La riqueza fue de 17 especies, lo que arroja una abundancia promedio de 5,7 individuos por especie. Dentro de este grupo, *Anthurium amoenum* fue la especie más abundante (24 individuos), seguida por *Begonia foliosa* (16 individuos), ambas superando notablemente la media del hábito.

En cuanto a la estructura vertical del sotobosque, las especies dominantes presentaron alturas bajas: *Anthurium amoenum* 26 cm, *Anthurium cabrerense* 16 cm, *Begonia foliosa* 18 cm y *Begonia urticae* 20 cm. Los helechos herbáceos, representados por *Diplazium sp.* 59 cm y *Diplazium bogotense* 28 cm, mostraron mayor altura, aunque su abundancia fue menor. En conjunto, estas especies forman una cubierta vegetal densa y de bajo porte, característica de sotobosques en bosques andinos húmedos.

Figura 26.

Perfil vertical de la vegetación para los diferentes hábitos de crecimiento.

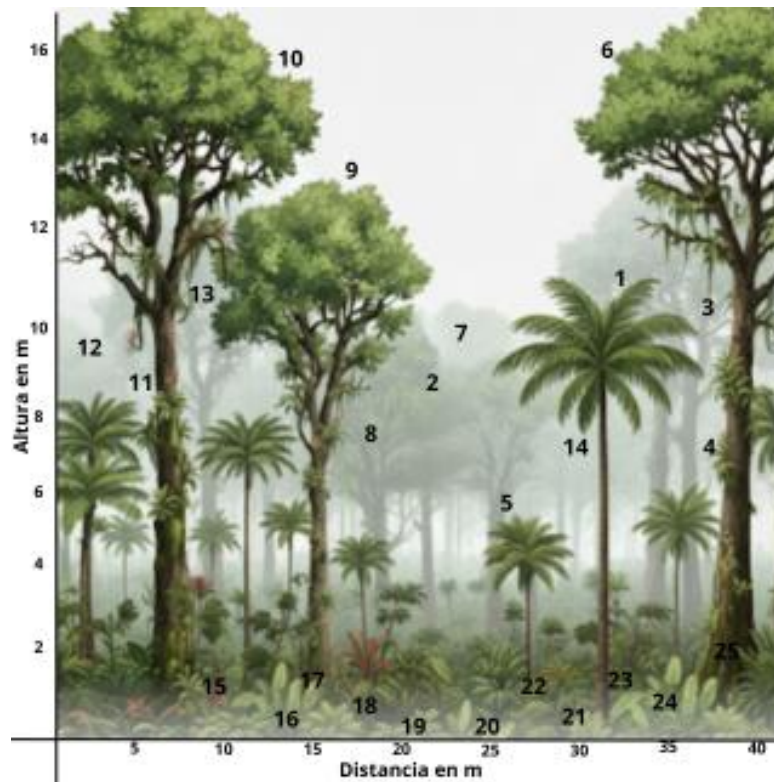


Tabla 8.

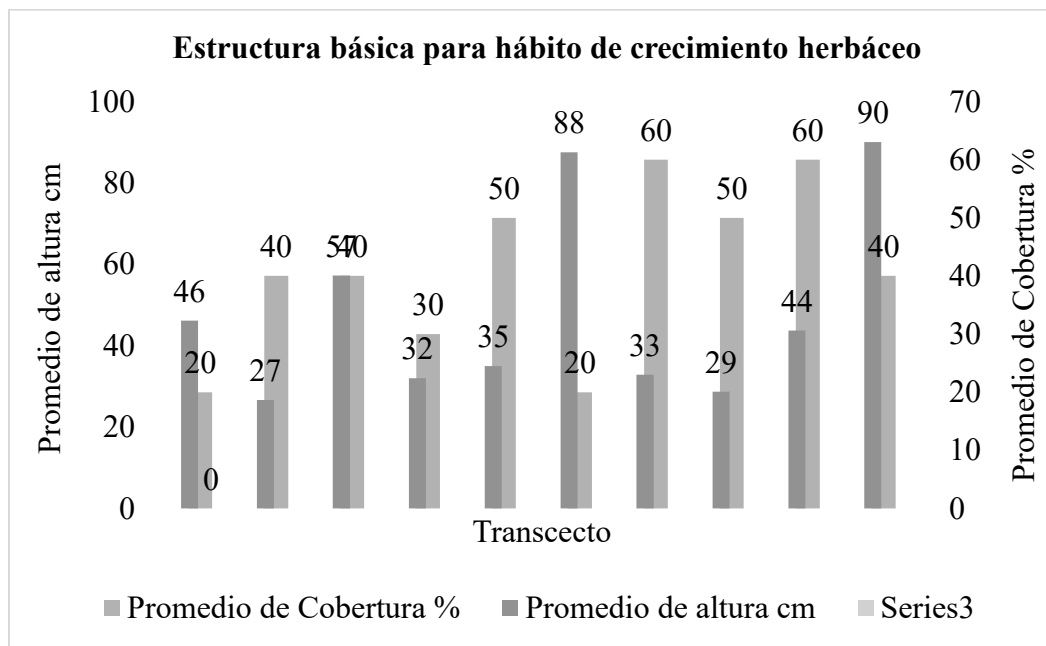
Descripción de especies para el perfil de vegetación.

Nº	Especie de hábito arbóreo	Altura m	Nº	Especie de hábito herbáceo	Altura cm
1	<i>Chamaedorea linearis</i>	7	14	<i>Stenostephanus sanguineus</i>	30
2	<i>Chrysochlamys dependens</i>	11	15	<i>Dianthera secunda</i>	110
3	<i>Cordillera platycalyx</i>	13	16	<i>Anthurium amoenum</i>	16
4	<i>Cyathea squamipes</i>	8	17	<i>Anthurium cabrerense</i>	21
5	<i>Elaeagia utilis</i>	11	18	<i>Monstera obliqua</i>	10
6	<i>Endlicheria rubriflora</i>	13	19	<i>Asteracea sp</i>	20
7	<i>Faramea oblongifolia</i>	10	20	<i>Diplazium bogotense</i>	28
8	<i>Geissanthus francoae</i>	4	21	<i>Diplazium sp</i>	59
9	<i>Myrcia fallax</i>	6	22	<i>Begonia foliosa</i>	18
10	<i>Oreopanax incisus</i>	14	23	<i>Begonia urticae</i>	20
11	<i>Palicourea acetosoides</i>	5	24	<i>Chamaecostus cuspidatus</i>	35
12	<i>Palicourea angustifolia</i>	5			
13	<i>Wettinia kalbreyeri</i>	9			

La altura promedio de las especies herbáceas (Figura 27) fluctúa entre 20 y 88 cm, mientras que la cobertura promedio varía entre 27 y 70%. El transecto 6 con 88 cm y 20% de cobertura, describe una alta altura promedio, pero baja cobertura, debido a la presencia de individuos aislados, pero de mayor ocupación. Por el contrario, el transecto 2 con 27 cm y 40% de cobertura, muestra una cobertura alta con alturas más bajas, describiendo una dominancia de especies de menor altura que forman una cobertura rasante más densa. Este patrón es clave para el desarrollo del hábito arbóreo, ya que permite visualizar cómo la vegetación herbácea distribuye sus recursos en función de la ocupación espacial (cobertura) versus el desarrollo vertical (altura).

Figura 27.

Altura y promedio de cobertura en cada transecto.



4.3.3 Especies de interés ecológico para la conservación

5. Discusión

El bosque andino objeto de estudio se caracteriza por presentarse entre los 2.000 y 2.500 m s. n. m., donde sus elementos florísticos varían entre hábitos de crecimiento y se encuentran entre lo más amenazados del trópico. En Colombia estos bosques conforman el 5% de la totalidad de los bosques, varios estimativos mencionan que probablemente sea menos del 5% (García, Suárez, & Daza, 2010). La presencia de especies arbóreas y herbáceas indica que el bosque se encuentra en un estado de madurez estructural, aunque la presencia de un número significativo de hierbas terrestres concuerda con lo planteado por estudios recientes, que resaltan la importancia de estos hábitos en la configuración de la diversidad andina (Restrepo & Morales, 2021).

La caracterización florística del área de estudio evidencia una diversidad representada por 60 especies arbóreas agrupadas en 30 familias y 17 herbáceas distribuidas en 9 familias. Se refleja un patrón de ecosistema complejo, con estratificación vertical marcada entre especies y abundancia diferencial entre los hábitos de crecimiento. La dominancia de familias como *Arecaceae*, *Rubiaceae* y *Lauraceae* coincide con lo reportado para bosques andinos y subandinos, donde estas familias constituyen elementos estructurales fundamentales del sotobosque y del dosel medio (Gentry, 1995; Duque et al., 2002). Existe una particularidad, la abundancia de *Wettinia kalbreyeri* y *Chamaedorea linearis* sugiere condiciones microclimáticas de alta humedad y sombra, las observaciones de estas características son propias de ambientes montanos con fuerte influencia de palmas, lo cual ha sido descrito en estudios realizados en los Andes colombianos (Valencia et al., 2000; Galeano & Bernal, 2010).

La composición herbácea dominada por *Anthurium amoenum* y *Begonia foliosa*, refleja la importancia de los sotobosques húmedos y sombreados como reservorios de diversidad. La presencia de estas especies, junto con helechos como *Diplazium sp*, sugiere microhábitats con condiciones particulares de humedad y disponibilidad de claros de luz, generada por caída repentina de individuos del dosel, la actividad natural del bosque, favorece tanto la colonización como la regeneración de especies especializadas (García et al., 2011). El predominio de familias como Araceae, Begoniaceae y Athyriaceae en el estrato herbáceo no es casual: refleja una adaptación altamente especializada a las condiciones microambientales del bosque altoandino de Salento. Estas familias son bioindicadoras de alta humedad, sombra profunda y suelos orgánicos condiciones que se mantienen gracias a un dosel cerrado y a la ausencia de perturbación intensa (Croat, 1991; Luteyn, 1999). En particular, *Anthurium* (Araceae) y *Begonia* (Begoniaceae) son géneros con alta sensibilidad a cambios en la cobertura vegetal; su abundancia aquí confirma que el bosque tiene una estructura vertical intacta, capaz de mantener un microclima estable en el suelo (Higuita & Dávila, 2018).

Sin embargo, esta especialización también implica vulnerabilidad. Estudios en bosques andinos muestran que la apertura del dosel por tala, turismo no regulado o ganadería provoca un colapso rápido de estas comunidades, reemplazadas por especies heliófilas o invasoras (Duivenvoorden & Lips, 1995).

Por eso, la presencia de *Anthurium cabrerense* especie Vulnerable/En Peligro no es solo un hallazgo taxonómico, sino una alerta temprana: su supervivencia depende de mantener la integridad del sotobosque.

En conjunto, esta dominancia familiar no indica baja diversidad, sino alta funcionalidad ecológica: cada familia ocupa un nicho preciso (epífitas en troncos, rastreras en suelo, helechos en zonas húmedas), lo que maximiza el uso de recursos en un ambiente estable.

Pero también subraya un mensaje clave para la conservación: proteger el bosque no es solo salvar árboles es proteger la sombra, la humedad y el suelo donde vive la verdadera diversidad.

El transecto T7, que presentó la mayor riqueza con 20 especies, evidencia la presencia de especies indicadoras de madurez ecológica, como *Calophyllum brasiliense* y *Magnolia hernandezii*, su presencia describe condiciones ambientales estables y microhábitas específicos, asociados a suelos profundos y alta humedad, factores de los bosques andinos bien conservados. (Rodríguez et al., 2020). la categoría árbol concentró la mayor proporción con 60 especies en total, con representación característica de sotobosque como *Faramea oblongifolia* y *Palicourea angustifolia*, las cuales, por su frecuencia y abundancia, podrían considerarse como especies dominantes o indicadoras de regeneración secundaria, coincide con estudios en bosque andinos de Tolima, donde las especies de Rubiaceae y Melastomataceae muestran amplia distribución y contribuyen en la diversidad total del bosque Caro et al., 2024). En el hábito de palma, se presentó una riqueza moderada de 4 especies, dominada por *Ceroxylon quindiuense* y *Wettinia kalbreyeri*, las dos tienen un gran valor ecológico y simbólico. La relación de estas palmas en la misma franja altitudinal sugiere una estructura vertical funcional, donde su diferencia de altura y cobertura facilitan la interacción ecológica entre especies (Bernal & Galeano, 2020). Los helechos arborescentes son *Alsophila erinacea* y *Cyathea squamipes* y aportan al componente estructural del dosel bajo, regulando la humedad ofreciendo soporte para epífitas, lo que afirma su papel como indicadores de bosques húmedos bien conservados (Ramírez & Vargas, 2022).

En el hábito herbáceo, con 17 especies, se evidencia una elevada riqueza en las categorías herbáceas terrestres y helechos herbáceos. Estas contribuyen a más del 50% de la diversidad en sotobosque, un patrón que concuerda con lo descrito por Higuita & Dávila (2018) y Gebeyehu (2019), quienes destacan el papel de las especies no arbóreas como componentes esenciales de la diversidad total en ecosistemas andinos. La presencia de *Anthurium amoenum*, *Begonia foliosa* y *Diplazium bogotense* resalta la importancia ecológica y microclimática de los estratos bajos, donde la alta humedad favorece la proliferación de estas especies.

Un aspecto importante es la presencia de especies con interés para la conservación, se encontró *Magnolia hernandezii* (endémica y En Peligro), *Juglans neotropica* y *Ceroxylon quindiuense*, categorizadas como En Peligro. Asimismo, especies clasificadas como Vulnerables, como *Geissanthus francoae* y *Meriania antioquiensis*, refuerzan la evidencia del valor del área como refugio de biodiversidad y como escenario para estrategias de conservación *in situ* (Camacho et al., 2020; UICN, 2023). Estos hallazgos sugieren que la zona de estudio no solo cumple un papel en la provisión de hábitats para especies comunes, sino también en la preservación de especies raras y amenazadas.

En cuanto a la estructura, se encontró un mayor número de latizales frente a fustales en familias como Arecaceae, Rubiaceae y Lauraceae, lo que describe una dinámica sucesional activa, con regeneración continua de especies dominantes. Este patrón ha sido reportado en bosques secundarios en recuperación, donde los latizales actúan como indicadores de procesos de resiliencia ecológica y capacidad de regeneración natural (Guariguata & Ostertag, 2001; Chazdon, 2014). Existe una coincidencia de familias representadas tanto en fustales como en latizales, esto describe una continuidad en el reclutamiento de individuos hacia estados maduros, lo cual es consistente con un ecosistema que mantiene su funcionalidad a pesar de posibles presiones

antrópicas como la expansión agrícola y el turismo. Estos resultados confirman la necesidad de conservar no solo las especies dominantes, sino también las de menor abundancia que cumplen funciones clave en la regeneración y conectividad ecológica del ecosistema (Gómez et al., 2022).

Por lo tanto, los resultados permiten inferir que el bosque estudiado combina elementos de madurez y regeneración, donde la riqueza florística y la presencia de especies de interés para la conservación refuerzan la necesidad de planes de manejo orientados a la protección de la biodiversidad. Estos patrones, comparados con estudios en otros bosques montanos de los Andes, sugieren que la zona de estudio se comporta como un mosaico ecológico que integra tanto especies comunes como taxones de alto valor de conservación, siendo clave para la conectividad de paisajes y la resiliencia de ecosistemas andinos (García, Suárez, & Daza, 2010).

La mayor diversidad en el transecto T7 ($H' = 2,9$) indica una comunidad con alta equitatividad, es decir, donde las especies están más equilibradamente distribuidas en abundancia, sin que ninguna domine excesivamente. En contraste, los valores más bajos en T2 y T8 ($H' = 2,2$) reflejan una mayor dominancia de unas pocas especies, un patrón común en comunidades donde ciertos grupos funcionales como palmas (*Wettinia*, *Chamaedorea*) o helechos arborescentes (*Cyathea*) monopolizan recursos lumínicos y espaciales (Galeano & Bernal, 2010). Este comportamiento es consistente con lo reportado por Magurran (2004), quien señala que valores de $H' > 2,5$ en bosques tropicales indican comunidades con baja dominancia y alta estabilidad ecológica, mientras que valores $< 2,3$ sugieren perturbación local o competencia asimétrica.

El índice de Simpson, con valores cercanos a 0,9 en la mayoría de los transectos, confirma una alta diversidad, ya que valores próximos a 1 indican baja probabilidad de dominancia por una sola especie (Moreno, 2001). Por otro lado, el índice de Margalef muestra una riqueza más amplia en T7 (6,1) y T4 (5,2), lo que indica una alta acumulación de especies en estas unidades, en

comparación con T1 y T2, con valores menores de 3,5. Este comportamiento se ajusta al patrón descrito para bosques montanos donde la riqueza local (α) puede variar significativamente entre microhábitats en función de gradientes de luz, humedad y sustrato (Muriel & Kattan, 2009).

En el caso del hábito herbáceo, el valor promedio de Shannon fue de (0,9) con una desviación de 0,47 y el índice de Simpson de 0,49 con desviación estándar de 0,22 describe una riqueza y heterogeneidad florística moderada, lo que concuerda con la idea de que la flora herbácea terrestre presenta mayor sensibilidad a la disponibilidad de claros, humedad edáfica y competencia con el sotobosque arbustivo (Duivenvoorden & Lips, 1995). El índice de Margalef con un valor de 0,95 y desviación estándar de 0,59, describe una riqueza baja a media, lo cual es coherente con las condiciones ambientales típicas de los bosques andinos, donde los factores como temperatura, la humedad y topografía que limitan el desarrollo de algunas especies herbáceas. Comparando valores con estudios similares, los resultados descritos por Armenteras et al. (2019) en bosques montanos del centro de los Andes colombianos muestran que el índice de Shannon para el estrato herbáceo oscila entre 0,8 y 1,2, evidenciando un patrón de diversidad intermedia condicionado por gradientes altitudinales y la apertura del dosel. Ruíz et al. (2017) encuentran valores de Simpson entre 0,45 y 0,60 en bosques de niebla, mencionando que la variabilidad lumínica y la humedad relativa favorecen la relación de especies tolerantes a la sombra y otras de carácter heliófilo. En relación a eso, los transectos T3, T8 y T9, que registraron valores más altos de diversidad (Shannon > 1,2 y Margalef > 1,5), podrían representar microhábitats más estables o menos alterados, donde la cobertura del dosel y la humedad del suelo permiten la relación de un mayor número de especies. Por el contrario, los transectos T6 y T10, con índices bajos (< 0,5), indicarían zonas más perturbadas o con condiciones ambientales restrictivas, en lo posible asociadas a una menor cobertura vegetal o compactación del suelo.

La diversidad beta en el estrato arbóreo muestra una heterogeneidad espacial moderada, con agrupamientos definidos entre transectos como T6-T7 (similitud $\sim 0,30-0,35$) y T4-T9 ($\sim 0,40$). Este patrón es consistente con estudios en bosques andinos, donde la topografía y la estructura vertical del dosel generan microambientes diferenciados que influyen en la distribución de las especies (Blundo et al., 2021). La baja similitud entre T6 y T7 sugiere que estos transectos están en microhábitats distintos, posiblemente con variaciones en pendiente, exposición solar o suelo. En contraste, la similitud moderada entre T4 y T9 indica condiciones ambientales más homogéneas, lo que podría explicarse por una menor variabilidad topográfica o una historia de uso similar. Esta variabilidad es característica de los ecosistemas montañosos, donde factores como la pendiente, la radiación lumínica y la humedad relativa favorecen la adaptación de especies a pequeñas escalas (Duivenvoorden & Lips, 1995; González et al., 2022). Por lo tanto, la diversidad beta no solo refleja la composición floral, sino también la complejidad espacial del paisaje andino.

En el estrato herbáceo, la diversidad beta revela una heterogeneidad espacial alta, con similitudes que varían desde 0,75 (T5-T7) hasta $< 0,30$ (T10, T8, T1, T6). Este patrón es consistente con estudios en bosques andinos, donde la estructura vertical del dosel y la topografía generan microambientes diferenciados que influyen en la distribución de las especies (Blundo et al., 2021; González et al., 2022).

La alta similitud entre T5 y T7 sugiere que estos transectos están en microhábitats muy similares, con condiciones de humedad, sombra y suelo que favorecen la misma comunidad de herbáceas. En contraste, la baja similitud entre T10, T8, T1 y T6 indica que cada uno tiene una comunidad única, posiblemente por variaciones en pendiente, exposición solar o intervención humana. Esta variabilidad es característica de los Andes, donde factores como la radiación lumínica, la humedad relativa y la pendiente favorecen la adaptación de especies a pequeñas

escalas (Duivenvoorden & Lips, 1995). Por lo tanto, la diversidad beta no solo refleja la composición floral, sino también la complejidad espacial del paisaje andino, lo que subraya la necesidad de conservar no solo áreas grandes, sino también la heterogeneidad interna de cada fragmento.

La curva de acumulación muestra un incremento acelerado en el número de especies, pasando de 13 a 42 en las primeras unidades de muestreo, lo que evidencia una alta heterogeneidad florística en áreas reducidas. La posterior estabilización alrededor de 60 especies en 0,1 ha indica que el esfuerzo de muestreo capturó buena parte de la diversidad, aunque la pendiente aún creciente sugiere que un muestreo más extenso podría registrar especies adicionales. Este comportamiento ha sido reportado en estudios de bosques tropicales montanos, donde la diversidad regional (γ) suele estar subestimada con esfuerzos de muestreo limitados (Gotelli & Colwell, 2011; Condit et al., 2014).

Estos resultados confirman la necesidad de conservar no solo las especies dominantes, sino también las de menor abundancia que cumplen funciones clave en la regeneración y conectividad ecológica del ecosistema (Gómez et al., 2022). La estructura en conjunto de los resultados demuestra que la zona presenta una diversidad alfa moderada a alta, un recambio florístico evidente entre transectos y una riqueza regional aún en expansión. Esto refuerza la importancia de la heterogeneidad ambiental en los bosques andinos como factor clave para mantener la diversidad vegetal, y resalta la necesidad de estrategias de conservación que integren no solo la riqueza local, sino también la complementariedad entre sitios.

Los resultados de estructura horizontal evidencian un estado de sucesión avanzada en el bosque estudiado. El DAP promedio de 22,28 cm y la altura de 17,44 m en el estrato de fustales describen que la mayoría de los árboles han alcanzado un desarrollo considerable, lo que coincide

con la dinámica esperada de bosques maduros en zonas andinas, donde los fustales representan el principal reservorio de biomasa y carbono (Sierra et al., 2007; Álvarez-Dávila et al., 2017). Valores similares se han encontrado en bosques montanos de la Cordillera Central, con promedios superiores a 20 cm en etapas sucesionales avanzadas (García et al., 2014), lo que confirma que estos ecosistemas tienen un alto potencial de almacenamiento de carbono y servicios ecosistémicos.

En contraste, el estrato de latizales, con un DAP promedio de 5,11 cm y altura de 6,16 m, refleja la presencia de individuos en etapa de establecimiento. Esta coexistencia de individuos jóvenes y adultos asegura la continuidad del bosque a través del tiempo, lo que se interpreta como un proceso activo de regeneración natural. Estudios en bosques secundarios de los Andes tropicales señalan que esta dinámica es clave para la resiliencia ecológica, ya que garantiza el reemplazo generacional de las especies y amortigua los efectos de disturbios naturales o antrópicos (Chazdon, 2014; Muscarella et al., 2017).

La biomasa obtenida muestra que los fustales concentran la mayor proporción (513,9 ton/ha), mientras que los latizales aportan significativamente menos (23 ton/ha). Este patrón coincide con lo reportado en bosques tropicales de Centro y Suramérica, donde los árboles de mayor diámetro concentran la mayor parte del carbono aéreo (Clark & Clark, 2000; Phillips et al., 2019). Comparativamente, en la Amazonía se ha encontrado que la pérdida de árboles adultos genera una reducción desproporcionada en la biomasa total, lo que evidencia la importancia de conservar este estrato (Malhi et al., 2006).

En cuanto a la distribución diamétrica, la mayor abundancia en la primera clase (2,5–11,9 cm) y la disminución progresiva hacia las clases superiores, hasta alcanzar un solo individuo en el rango > 60 cm, configuran un patrón de J invertida. Este patrón es reconocido como indicador de

regeneración activa en bosques naturales (Lamprecht, 1990; Alder & Synnott, 1992). Al comparar con bosques de niebla en Colombia, se observa un comportamiento similar, donde predominan los individuos jóvenes y pocos alcanzan diámetros superiores, reafirmando un estado de regeneración saludable (Alvear & Rangel-Ch., 2017). La estructura horizontal del bosque refleja un equilibrio entre individuos adultos que sostienen la biomasa y jóvenes que garantizan el reemplazo generacional. Este balance es clave para la conservación, ya que asegura la persistencia del bosque y el mantenimiento de servicios ecosistémicos como la captura de carbono, la regulación hídrica y la protección de la biodiversidad asociada.

La estructura vertical del bosque analizado refleja un sistema altamente heterogéneo, donde ciertas especies, como *Wettinia kalbreyeri*, configuran un papel dominante en varios estratos. Esta especie alcanzó el mayor valor de posición sociológica relativa (18,1%), confirmando su rol como estructurador principal del dosel y acompañante en el sotobosque, lo que concuerda con estudios que destacan a las palmas como elementos clave en la organización vertical de los bosques andinos y su aporte a la oferta de recursos como frutos y refugio para la fauna (Montúfar & Pintaud, 2006; Pintaud et al., 2008). Asimismo, especies como *Cyathea squamipes* y *Chrysochlamys dependens*, con valores superiores al 6%, aportan a la diversidad estructural, mostrando la importancia de helechos arborescentes y especies leñosas intermedias en la configuración de microhábitats. Además, la estructura vertical del bosque muestra una clara dominancia del hábito arbóreo en la categoría árbol, que representa el 70,5 % de la composición, seguido por las palmas (20,0 %) y los helechos arborescentes (9,5 %). Este patrón confirma la importancia del estrato superior en la arquitectura del bosque, donde las especies leñosas conforman la base estructural y funcional del ecosistema. Según Mendoza et al. (2022), esta tendencia es típica de bosques maduros andinos, donde los árboles son los principales contribuyentes a la biomasa y a la dinámica de sucesión.

La regeneración natural evidenció también una clara dominancia de *Wettinia kalbreyeri* (13,0%) y *Chamaedorea linearis* (12,1%), especies que sostienen la continuidad del bosque desde etapas tempranas. El hecho de que el 76% de las especies registradas en latizales tengan valores de PSR-RN menores al 1,5% sugiere una alta diversidad en fases iniciales, garantizando resiliencia y redundancia ecológica (Chazdon, 2014; Muscarella et al., 2017). Estos resultados coinciden con investigaciones en bosques montanos de Ecuador y Colombia, donde las palmas y rubiáceas dominan los procesos de regeneración bajo condiciones de sombra (Balslev et al., 2011; Stevenson et al., 2014). En la regeneración natural, se observa una composición más equilibrada, con una ligera reducción del dominio arbóreo (67,7 %) y un incremento en la participación de las palmas (27,8 %). Este cambio se debe a procesos de regeneración activa y adaptación del sotobosque a condiciones de la variabilidad de humedad y la actividad lumínica que favorecen a las especies de *Arecaceae*, como lo señalan Salinas & Pérez (2023). La disminución del grupo de helechos arborescentes (4,5%) podría estar asociada con la limitada dispersión de esporas dentro del área de estudio y la suma de los requerimientos necesarios de microhábitats específicos (Rodríguez et al., 2021).

El índice de valor de importancia (IVI) confirma la supremacía de *Wettinia kalbreyeri* (36,6%), junto con especies acompañantes como *Cecropia angustifolia* (20,7%) y *Endlicheria rubriflora* (18,6%). Estas especies forman parte de un grupo funcional clave para la cobertura y la biomasa, favoreciendo la estabilidad estructural del bosque. En comparación, estudios en bosques andinos han mostrado que los *Cecropia* cumplen roles pioneros esenciales en la dinámica sucesional, mientras que especies de *Lauraceae* como *Endlicheria* se consolidan en etapas intermedias (Murcia, 1997; Álvarez-Dávila et al., 2017). El Índice de Valor de Importancia (IVI) refuerza este patrón: la categoría árbol concentra el 234,7 %, indicando su peso ecológico

dominante, mientras que las palmas (41,7 %) y helechos arborescentes (23,7 %) actúan como acompañantes estructurales. En la regeneración natural, el IVI muestra una redistribución ecológica donde las palmas aumentan su representatividad en un 30 %, reflejando su capacidad de recolonización bajo el dosel y su aporte en la sucesión temprana (Rodríguez et al., 2021).

En latizales, la continuidad de especies dominantes como *Wettinia kalbreyeri* (14,0%) y *Chamaedorea linearis* (12,8%) resalta su rol en la conformación del subdosel. Aunque especies con valores bajos (<5%) como *Trichilia pallida* o *Alsophila erinacea* parecen marginales, su presencia asegura heterogeneidad florística y funcional, ya que contribuyen a la diversidad de nichos y microambientes (Finegan, 1996).

El Índice de Valor de Importancia Amplificado (IVIA) refuerza este patrón, con *Wettinia kalbreyeri* alcanzando un 65,9%, seguida por especies acompañantes como *Endlicheria rubriflora* y *Chrysochlamys dependens*. La alta concentración de valor en pocas especies muestra un bosque estructuralmente dominado, pero funcionalmente balanceado, ya que más del 50% de las especies presentan valores intermedios (5–16%). Este equilibrio entre dominancia y diversidad es fundamental para la resiliencia ecológica frente a perturbaciones (Finegan, 1996; Chazdon, 2014).

El perfil de vegetación refleja una clara estratificación vertical: especies emergentes como *Oreopanax incisus* y *Endlicheria rubriflora* dominan el dosel; palmas (*Wettinia kalbreyeri* y *Chamaedorea linearis*) estructuran el subdosel, mientras que arbustos y helechos como *Cyathea squamipes* y *Palicourea* ocupan niveles intermedios. El estrato bajo, conformado por aráceas, begoniáceas y helechos herbáceos, garantiza cobertura continua y heterogeneidad a escala del suelo. Este patrón coincide con lo descrito en bosques andinos de Venezuela y Ecuador, donde la estratificación compleja asegura la coexistencia de múltiples formas de vida y el mantenimiento de funciones ecosistémicas críticas (Homeier et al., 2010; Gutiérrez et al., 2014).

La relación entre altura y cobertura herbácea evidencia variaciones en la distribución de recursos; se encontraron transectos con alta altura, pero baja cobertura, los cuales reflejan especies aisladas de gran porte, mientras que coberturas densas de baja altura conforman un sotobosque cerrado. Este contraste describe la competencia y complementariedad en el uso del espacio vertical, fenómeno ampliamente reportado en la dinámica de bosques neotropicales (Clark & Clark, 2000).

En conjunto, la estructura vertical del bosque analizado muestra un sistema dominado por especies clave, pero con suficiente diversidad en estratos inferiores y regeneración, lo que asegura resiliencia y estabilidad ecológica a largo plazo. La identificación de especies endémicas, amenazadas y de baja abundancia constituye un aspecto fundamental para definir prioridades de conservación en bosques andinos. En este estudio se registraron dos especies endémicas, *Magnolia hernandezii* y *Meriania antioquiensis*, las cuales presentan categoría de amenaza a nivel nacional y por la UICN. El hallazgo de estas especies coincide con lo reportado por Serna et al. (2017), quienes destacan la alta concentración de endemismos y especies en riesgo en los ecosistemas andinos debido a la fuerte presión antrópica y a la fragmentación del hábitat. La presencia de estas especies no solo resalta el valor biológico del área de estudio, sino también la urgencia de implementar estrategias de conservación específicas para poblaciones reducidas y altamente vulnerables.

Asimismo, se identificaron especies nativas en riesgo, como *Juglans neotropica* (En Peligro) y *Ceroxylon quindiuense* (Vulnerable). Estos resultados son consistentes con lo señalado por Londoño y Álvarez (2020), quienes indican que la sobreexplotación maderera y la pérdida de hábitat representan las principales amenazas para estas especies. En particular, *Ceroxylon quindiuense*, declarado árbol nacional de Colombia, se considera un bioindicador clave de la salud

de los bosques andinos y su declive podría tener implicaciones directas en la dinámica ecológica y la conectividad entre ecosistemas (Sanín & Galeano, 2011).

La identificación de especies raras o de baja abundancia, como *Calophyllum brasiliense*, *Trophis caucana* y *Geonoma orbignyana* (cada una con un solo individuo), revela la importancia de considerar la rareza ecológica como un criterio adicional de conservación. Según Gaston (1994), la baja densidad poblacional puede incrementar la vulnerabilidad de las especies ante perturbaciones, dificultando su regeneración natural y aumentando el riesgo de extinción local. Estos resultados sugieren que incluso especies que no presentan categorías de amenaza global deben ser priorizadas en los planes de conservación debido a su escasa representación en el área.

En el hábito herbáceo, especies como *Anthurium cabrerense*, con siete individuos registrados (7,9%), se destacan por encontrarse en categoría de amenaza Vulnerable y En Peligro, lo que coincide con lo expuesto por Croat (1991), quien subraya la sensibilidad de los Araceae frente a cambios microclimáticos y a la pérdida de su hábitat. De igual manera, *Macrolobium colombianum*, aunque solo se registró con un individuo (1,1%), refleja un estado de amenaza de Preocupación Menor, lo que evidencia la necesidad de monitoreo constante para evitar que su población decline de manera significativa.

En conjunto, los resultados evidencian que tanto especies leñosas como herbáceas cumplen un rol crucial en la estabilidad ecológica de los bosques andinos. La coexistencia de endemismos, especies amenazadas y rarezas ecológicas sugiere que la conservación de estos ecosistemas no debe basarse únicamente en indicadores de abundancia, sino también en criterios de representatividad, función ecológica y riesgo de desaparición local. Estos hallazgos son consistentes con lo planteado por Myers et al. (2000), quienes afirman que los Andes tropicales

constituyen un Hotspot de biodiversidad, cuya protección es esencial para mantener la resiliencia ecológica y los servicios ecosistémicos en la región

6. Conclusiones

Los bosques andinos de Salento albergan una alta diversidad florística con 60 en el hábito arbóreo y 17 en el hábito herbáceo, con una marcada asimetría entre hábitos: el componente herbáceo concentra el 22% de la riqueza total, mientras que el arbóreo domina con una riqueza total de 88%. Esta descripción de alta diversidad en el hábito arbóreo y alta estructura en el dosel refleja un sistema ecológico complejo, donde la interacción vertical entre estratos no solo maximiza el uso de recursos, sino que potencia la resiliencia del ecosistema y su capacidad de retención hídrica, características esenciales en ecosistemas andinos.

La estructura diamétrica en “J invertida”, con predominio de individuos jóvenes (clase I: 2,5–11,9 cm) y presencia continua de fustales, evidencia regeneración natural activa y estabilidad sucesional. La biomasa arbórea promedio de 536,9 ton/ha, junto con la estratificación vertical definida por *Wettinia kalbreyeri* y *Endlicheria rubriflora*, confirma el rol estratégico de estos bosques como sumideros de carbono y reguladores del microclima. Además, el IVIA de *Wettinia kalbreyeri* (65,9%) demuestra su importancia integral, al ser dominante tanto en fustales como en latizales un indicador de continuidad ecológica clave para la resiliencia del ecosistema.

Se identificaron 8 especies de alto valor conservacionista, incluyendo endémicas (*Magnolia hernandezii*, *Meriania antioquiensis*), amenazadas (*Juglans neotropica*: En Peligro; *Ceroxylon quindiuense*: Vulnerable) y raras (*Calophyllum brasiliense*, *Trophis caucana*: ≤ 1

individuo). La presencia de *Anthurium cabrerense* (Vulnerable/En Peligro) en el sotobosque subraya que la conservación debe abarcar todos los hábitos, no solo los arbóreos. Estos hallazgos posicionan a la Reserva La Patasola como un refugio crítico de biodiversidad en un contexto de alta fragmentación andina (Botero et al., 2020).

Ante estos hallazgos, se recomienda implementar un programa de manejo integral que: (i) priorice la protección y propagación de especies clave mediante viveros comunitarios y bancos de semillas; (ii) fortalezca la conectividad ecológica entre fragmentos para sostener la regeneración natural; (iii) incluya las especies herbáceas sensibles en planes de turismo responsable; y (iv) articule estos resultados con los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) del Quindío, reconociendo explícitamente a estos bosques como áreas estratégicas para la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad andina.

7. Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos y las conclusiones del estudio, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas a la conservación y gestión sostenible de los bosques andinos de Salento (Quindío):

1. Protección de especies de interés ecológico y amenazadas.

Implementar programas de monitoreo y protección prioritaria de especies endémicas y amenazadas, como *Magnolia hernandezii*, *Meriania antioquiensis*, *Juglans neotropica* y *Ceroxylon quindiuense*. Estas especies deben ser incluidas en planes de conservación in situ, así como en bancos de semillas y viveros comunitarios para fortalecer procesos de restauración.

2. Fortalecimiento de la regeneración natural.

El patrón de distribución diamétrica en J invertida y la diversidad registrada en los estratos de latizales sugieren un alto potencial de regeneración natural. Se recomienda promover la conectividad entre fragmentos boscosos para facilitar la dispersión de semillas y el establecimiento de plántulas, reduciendo la presión por actividades antrópicas como ganadería extensiva o expansión agrícola.

3. Restauración de áreas degradadas.

Priorizar la restauración activa en zonas adyacentes a los fragmentos de bosque conservados, utilizando especies nativas y de importancia ecológica identificadas en el estudio. Es fundamental integrar especies claves de estructura como *Wettinia kalbreyeri*, que aporta estabilidad y resiliencia al bosque, junto con especies de alta representación en los diferentes estratos.

4. Conservación de la diversidad florística en estratos herbáceos.

Dada la relevancia de las herbáceas como componentes que aportan más del 50% de la diversidad en los bosques andinos, se recomienda garantizar su protección en las estrategias de conservación. Esto implica ajustar planes de manejo forestal y de turismo para evitar el pisoteo y la extracción de especies sensibles como las aráceas (*Anthurium spp.*) y begoniáceas (*Begonia spp.*).

5. Gestión integral del recurso hídrico y carbono.

La biomasa y altura promedio de los fustales reflejan un alto potencial en la captura de carbono y regulación hídrica. Se sugiere que los bosques estudiados sean priorizados como áreas de conservación hídrica y sumideros de carbono en el marco de estrategias nacionales y regionales de mitigación al cambio climático.

6. Educación y participación comunitaria.

Involucrar a las comunidades locales en procesos de educación ambiental y monitoreo participativo de biodiversidad. El fortalecimiento de la identidad cultural y ecológica alrededor de especies emblemáticas como la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*) puede consolidar iniciativas de conservación comunitaria y ecoturismo responsable.

7. Articulación con políticas y planes regionales.

Los hallazgos de este estudio deben incorporarse en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y en los Planes de Manejo Ambiental (PMA) para asegurar que las áreas de bosques andinos sean reconocidas como zonas estratégicas de conservación y restauración en el departamento del Quindío.

En conjunto, estas recomendaciones buscan garantizar la sostenibilidad ecológica y social de los bosques andinos de Salento, favoreciendo la conservación de su biodiversidad, la provisión de servicios ecosistémicos y el bienestar de las comunidades que dependen de ellos.

Referencias Bibliográficas

- Antonelli, A., Zizka, A., Silvestro, D., Scharn, R., Cascales-Miñana, B., & Bacon, C. D. (2018). An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. *Biological Reviews*, 93(1), 215–236. <https://doi.org/10.1111/brv.12343>
- Alder, D., & Synnott, T. J. (1992). Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. Oxford Forestry Institute.
- Alvear, M., & Rangel-Ch., J. O. (2017). Estructura y composición de bosques de niebla andinos en Colombia. *Caldasia*, 39 (2), 306–322.
- Álvarez-Dávila, E., et al. (2017). Forest biomass density across large climate gradients in northern South America is related to water availability but not with temperature. *Global Ecology and Biogeography*, 26 (7), 756–769.
- Arbeláez Calvo, D. A., & Valencia Jiménez, S. R. (2012). Composición, estructura y diversidad florística de tres fragmentos de bosque en el municipio de Salento, Quindío. Universidad del Quindío.
- Armenteras, D., González, T. M., & Vergara, L. K. (2019). Estructura y composición de bosques montanos en los Andes centrales de Colombia: patrones de diversidad y conservación. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 745–761. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.36279>
- Balslev, H., et al. (2011). Species diversity and distribution patterns of palms in Ecuador. *Botanical Review*, 77 (3), 327–342.

- Botero Tobón, E., Vega Mier, J., & Guerra Layos, M. D. (s.f.). Análisis multitemporal de fragmentación de bosques andinos en el municipio de Frontino, Antioquia en los periodos 2015-2020. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Blundo, C., Malizia, A., & Brown, A. D. (2021). Floristic composition and beta diversity patterns in Andean montane forests: drivers and conservation implications. *Diversity*, 13(11), 583. <https://doi.org/10.3390/d13110583>
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. A. E. et al. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328, 1164-1168. <http://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Célleri R. 2010. Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes. En Quintero M. (ed.): Servicios Ambientales Hidrológicos en la Región Andina, CONDESAN, IEP, Lima, pp.2545. https://www.researchgate.net/publication/270892614_Estado_del_conocimiento_tecnico_cientifico_sobre_los_servicios_ambientales_hidrologicos_generados_en_los_Andes
- Chazdon, R. L. (2014). *Second growth: The promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. University of Chicago Press.
- Clark, D. A., & Clark, D. B. (2000). Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, 137 (1–3), 185–198.
- Condit, R., Engelbrecht, B. M. J., Pino, D., Pérez, R., & Turner, B. L. (2014). Species distributions in response to individual soil nutrients and seasonal drought across a community of tropical trees. *PNAS*, 110*(13), 5064–5068.

- Cortés-Ballén, L., Camacho-Ballesteros, S., & Matoma-Cardona, M. (2020). Estudio de la composición y estructura del bosque andino localizado en Potrero Grande, Chipaque (Colombia). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23 (1).
- Croat, T. B. (1991). A revision of *Anthurium* section *Pachyneurium* (Araceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 78 (4), 539–855.
- Critical Ecosystem Partnership Fund. (2015). Hotspot de biodiversidad de los Andes Tropicales. [https://www.cepf.net/sites/default/files/tropicalandes_techsummary_sp.pdf](https://www.cepf.net/sites/default/files/tropicalandes_techsummary_sp.pdf)
- Duivenvoorden, J. F., & Lips, J. M. (1995). A land-ecological study of soils, vegetation, and plant diversity in Colombian Amazonia. *Tropenbos International*.
- Duque, A., Cavelier, J., Posada, J., & Sánchez, M. (2002). Relationship between number of tree species and basal area in Neotropical forests. *Journal of Tropical Ecology*, 18 (6), 709–719.
- Finegan, B. (1996). Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology & Evolution*, 11(3), 119–124.
- García, C., Suárez, C., & Daza, M. (2010). Estructura y diversidad florística de dos bosques naturales (Buenos Aires, Dpto Cauca, Colombia). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), 74-82.
- Galeano, G., Bernal, R., & García, N. (2020). Flora del bosque montano en el Eje Cafetero colombiano. *Caldasia*, 42(2), 201–220. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n2.87654>
- Galeano, G., & Bernal, R. (2010). *Palmas de Colombia: guía de campo*. Universidad Nacional de Colombia.

- García, H., Correa, D., & Botero, J. E. (2011). Diversidad florística en bosques montanos de Colombia. *Caldasia*, 33 (1), 121–138.
- García, H., Correa, D. F., & Stevenson, P. R. (2014). Estructura y biomasa de bosques andinos en la Cordillera Central de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62 (2), 429–445.
- Garzón A. 2010. Panorama Andino sobre los servicios ambientales hidrológicos (SAH). 35 pp
<http://www.katoombagroup.org/documents/events/event34/PanoramaAndinoSAH6-09.pdf>
- Gaston, K. J. (1994). Rare species: The neglected many. *Trends in Ecology & Evolution*, 9(10), 412–414
- Gebeyehu, G., Soromessa, T., Bekele, T., & Teketay, D. (2019). Species composition, stand structure, and regeneration status of tree species in dry Afromontane forests of Awi Zone, northwestern Ethiopia. *Ecosystem Health and Sustainability*, 5 (1), Article 1664938. <https://doi.org/10.1080/20964129.2019.1664938>
- Gentry, A. H. (1982). Patterns of Neotropical plant species diversity. *Evolution Biology*, 15, 1–84.
- Gentry, A. H. (1995). Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. En S. H. Bullock, H. A. Mooney, & E. Medina (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests* (pp. XX–XX). Cambridge University Press.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2011). Estimating species richness. En *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment* (pp. 39–54). Oxford University Press.
- Gómez, F., Rodríguez, C., & Parra, M. (2022). Rareza ecológica y su papel en la dinámica de bosques tropicales andinos. *Journal of Tropical Ecology*, 38(4), 245–258.

- González, J., Peña, D., & Rojas, A. (2022). Estructura y diferenciación florística de bosques andinos bajo gradientes ambientales en Colombia. *Revista Ecosistemas*, 31(1), 1–12. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2022.31106>
- Guariguata, M. R., & Ostertag, R. (2001). Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, 148 (1–3), 185–206.
- Gutiérrez, A., Homeier, J., & Peña-Claros, M. (2014). Tree diversity and forest structure in Andean forests of Bolivia and Ecuador. *Forest Ecology and Management*, 330, 21–29.
- Herbario Nacional de Colombia. (n.d.). Herbario Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. [\[http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/\]](http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/)(<http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/>)
- Higuita, J., & Dávila, N. (2018). Diversidad florística y estructura de bosques andinos del norte de Antioquia. *Actualidades Biológicas*, 40(109), 75–88.
- Homeier, J., et al. (2010). Tropical Andean forests: diversity, ecology, and conservation. *Ecological Studies*, 205, 1–27.
- Hurtado, H. (2017). Caracterización y distribución vertical de epífitas vasculares (orquídeas y bromelias) y hospederos en un ecosistema de selva en el sur del Perú. Universidad de Manizales.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1996). Suelos del departamento del Quindío. IGAC.
- ISA-JAUM. (2004). Propuesta metodológica de parcelas normalizadas para los inventarios de vegetación. Medellín.

- Johansson, D. (1974). Ecology of vascular epiphytes in West African rain forest. *Acta Phytogeographica Suecia*, 59.
- Kessler, M., Kluge, J., & Abrahamczyk, S. (2019). Diversity and biogeography of vascular epiphytes in the Neotropics. *Plant Ecology and Diversity*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/17550874.2019.1588412>
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas*. GTZ.
- Linares, R. (2015). *Guía para el Desarrollo de la Ordenación Forestal Integral y Sostenible en Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Londoño, C., & Álvarez, E. (2020). Estado de conservación de especies arbóreas en bosques andinos de Colombia. *Revista Colombia Forestal*, 23 (2), 112–129.
- López-Camacho, R., Pedraza, C., & Rangel, J. O. (2020). Conservación de especies arbóreas andinas en Colombia: estado actual y perspectivas. *Revista de Biología Tropical*, 68 (1), 179–196.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd.
- Maldonado Lozano, A. M., & Salazar Pulido, W. Á. (2020). *Transformaciones territoriales generadas por el turismo en el Valle del Cocora (Salento, Quindío - Colombia), durante el periodo 2013–2019 [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]*.
- Malhi, Y., et al. (2006). The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12 (7), 1107–1138.
- Malizia, A., Blundo, C., Carilla, J., Osinaga, O., Cuesta, F., Duque, A., Aguirre, N., Aguirre, Z., Ataroff, M., et al. (s.f.).

- Mendoza, H. (2008). *Compilación de los inventarios RAP de vegetación en Colombia*. Instituto Humboldt.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Montúfar, R., & Pintaud, J. C. (2006). Variation in species composition, abundance and microhabitat preferences among western Andean palm communities. *Revista Peruana de Biología*, 13 (1), 5–12.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M & T-Manuales y Tesis SEA.
- Murcia, C. (1997). Evaluation of Andean forest restoration based on early successional vegetation dynamics. *Forest Ecology and Management*, 99 (1–2), 1–11.
- Muriel, P., & Kattan, G. (2009). Estructura y composición florística de bosques montanos en los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical*, 57 (1–2), 455–469.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403 (6772), 853–858.
- Muscarella, R., et al. (2017). Demographic drivers of variation in tropical forest biomass dynamics. *Ecological Applications*, 27 (7), 2156–2164.
- Phillips, O. L., et al. (2009). Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, 323, 1344–1347.
- Phillips, O. L., et al. (2019). Carbon uptake by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations' carbon emissions. *Science*, 284(5413), 1832–1836.
- Pintaud, J. C., et al. (2008). Las palmas de los Andes: diversidad y conservación. *Revista Peruana de Biología*, 15 (1), 143–152.

- Prada Gil, J. C. (2023). Composición de la comunidad de orquídeas en un bosque andino en Curití, Santander, Colombia. <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/453b1561-83a0-4cf0-9992-aedc67b43077/content>
- R Core Team. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rainfor. (2021). Amazon Forest Inventory Network. Fieldwork manuals, Field codes – Trees. <https://rainfor.org/en/manuals/in-the-field/>
- Ramírez, J., & Vargas, J. (2022). Distribución altitudinal y estructura de los helechos arborescentes en bosques húmedos tropicales de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 27(3), 95–110.
- Rangel, J. O., & Velázquez, A. (1997). Métodos de estudio de la vegetación. En J. O. Rangel-Ch (Ed.), *Diversidad Biótica II* (pp. 59–87). Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Rangel-Ch., J. O., & Velásquez, J. (2021). Diversidad vegetal y estructura de bosques andinos del Quindío. *Caldasia*, 43(2), 325–341.
- Restrepo, L., & Morales, H. (2021). Diversidad florística y regeneración en bosques secundarios de montaña. *Acta Biológica Colombiana*, 26(3), 345–357
- Reina-Rodríguez, G. A., & Rojas-Florez, C. (2023). Métodos para caracterizar epífitas vasculares en el contexto del turismo de naturaleza. *Redalyc*. <https://www.redalyc.org/journal/6650/665075508011/html/>

- Rodríguez-Echeverry, J., & Leiton, M. (2021). Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92.
- Rodríguez, L., Castaño, N., & Linares, E. (2020). *Magnolia hernandezii* y la conservación de los bosques andinos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(170), 281–292.
- Ruíz, J. A., & Betancur, J. (2017). Diversidad y estructura de la vegetación en bosques de niebla del flanco oriental andino colombiano. *Caldasia*, 39(1), 85–100.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.63043>
- Ruiz, J. A., & Galindo, G. (2020). Composición florística y estructura de los bosques andinos del Quindío, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 25(3), 567–580.
<https://doi.org/10.15446/abc.v25n3.88357>
- Sanín, M. J., & Galeano, G. (2011). Comparative demography of three Neotropical palms with contrasting life histories. *Ecology*, 92 (6), 1119–1131.
- Sandra P. Cortes-S. (2003). Estructura de la vegetación arbórea y arbustiva en el costado oriental de la Serranía de Chía (Cundinamarca, Colombia). Universidad Nacional de Colombia.
- Serna, C. A., Vargas, O., & León, J. D. (2017). Endemismos y conservación en ecosistemas andinos de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 22 (3), 321–332.
- Sierra, C. A., et al. (2007). Biomasa de bosques en Colombia. *Revista Colombia Forestal*, 10(20), 18–32.
- Stevenson, P. R., et al. (2014). Regeneration of palms in neotropical forests: recruitment and population dynamics. *Biotropica*, 46 (6), 709–718.

- Susilowati, A., Elfiati, D., Rachmat, H. H., Yulita, K. S., Hadi, A. N., Kusuma, Y. S., & Batu, S. A. L. (2020). Vegetation structure and floristic composition of tree species in the habitat of *Scaphium macropodum* in Gunung Leuser National Park, Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 21 (7).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d210720>
- Taubert, F., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., Müller, M. S., Rödiger, E., Wiegand, T., & Huth, A. (2018). Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature*, 554, 519–522.
<https://doi.org/10.1038/nature25508>
- Torres Guerrón, M. C. (2024). Tecnología social para la protección del agua en el páramo central del Ecuador.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26236>
- Tovar, C., Arnillas, C. A., & Seijas, A. E. (2021). Ecosystem services in Andean forests: A review. *Ecosystem Services*, 49, 101280. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101280>
- Tuomisto, H. (2010). A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part I. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. *Ecography*, 33, 2–22.
- UICN. (2023). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-2.
<https://www.iucnredlist.org>
- Valencia, R., Foster, R. B., Villa, G., Condit, R., Svenning, J. C., Hernández, C., & Balslev, H. (2000). Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: a large forest plot in eastern Ecuador. *Journal of Ecology*, 88 (6), 1025–1041.

- Yemata, G., & Haregewoien, G. (2022). Floristic composition, structure and regeneration status of woody plant species in Northwest Ethiopia. *Trees, Forests and People*, 9, 100291. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100291>
- Zhao, J., Ouyang, Z., Xu, W., Zheng, H., & Meng, X. (2010). Sampling adequacy estimation for plant species composition by accumulation curves. A case study of urban vegetation in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 95 (3), 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009>.