

Efecto Conjunto de un Gradiente Altitudinal y de Variables Meteorológicas en la Composición
Florística de Bosques Naturales al Norte de los Andes

Saider Arley Alvarado Rico, Víctor Alfonso Orjuela Márquez

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Forestal

Director

Diego Suescún Carvajal

MSc. Bosques y Conservación Ambiental

Codirector

Esteban Álvarez Dávila

PhD Ecología, Conservación y Restauración de Ecosistemas

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

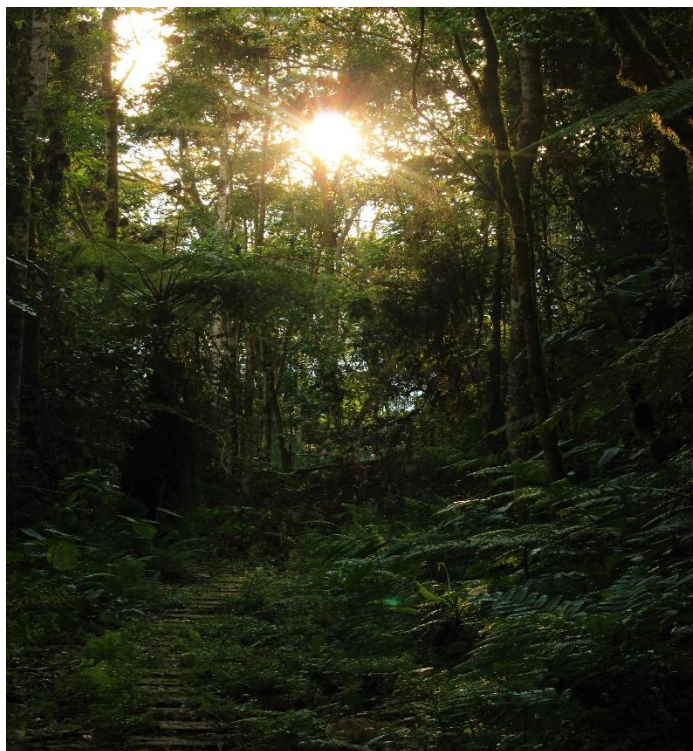
Málaga

2019

Dedicatoria Víctor Alfonso Orjuela Márquez

A mi familia por ser el pilar base en mi vida y carrera universitaria, en especial a mi madre *Maribel Márquez Sandoval*, pues me atrevo a decir que sin ella no hubiera llegado hasta este punto, porque fue ella quien con su cariño y apoyo me acompañó en cada una de las etapas de formación tanto profesional como comportamental y moral, a mi padre *Félix Eduardo Orjuela Pedraza* quién con su enseñanza de trabajo duro, eficaz y eficiente formó gran parte de mi carácter actual, y a pesar de nuestras diferencias siempre apoyo mis objetivos académicos.

A mi amigo *Yeison Alexander Diaz Gallo* a quien apodamos cariñosamente rolo, por su apoyo en cada trabajo, en cada situación y sobre todo en cada mal momento que se presentó, a él debo mucho de lo que soy hoy en día, a mi amiga *Hayde Yergeny Barón Alarcón* quien a pesar de las rabias y estrés que le causaba ser mi amiga nunca me abandonó apoyándome y entendiendo a veces las situaciones más complicadas, a mi amiga *Jennyfer Carolina Gómez León* a quien admiro por su dedicación e inagotable compromiso con la academia, a *Saider Arley Alvarado Rico* mi compañero de trabajo de grado por su colaboración y paciencia durante todo el proceso que conllevó la elaboración del documento.



*“Abrimos caminos en el bosque, sin darnos
cuenta qué el bosque es el camino”*

Dedicatoria Saider Arley Alvarado Rico

Primeramente, a mi Dios por la vida por concederme hacer realidad mi sueño de ser Ingeniero Forestal, a mi madre *María de Jesús Rico Ojeda*, Mi padre *Nulberto Alvarado Alvarado*, quienes son mi orgullo y motor para seguir adelante, a mis hermanas *Belky Dimary* y *Lenny Johanna* por el incondicional apoyo brindado durante todos estos años de preparación. A mis profesores por compartir sus conocimientos e inculcarnos el amor hacia esta bonita profesión, en especial al MSc *Diego Suescún Carvajal* por su apoyo incondicional para la realización del presente proyecto. A mis compañeros y amigos que de una u otra manera siempre estuvieron ahí en los momentos buenos y difíciles, siempre con una voz de aliento para seguir adelante en especial a *Víctor Alfonso Orjuela Márquez* por su confianza en este proceso de formación. A *Bryan Daniel Parra* quien es mi gran compañero y amigo del cual aprendí la calidez humana que lo caracteriza.



*“No hay sueños que no se puedan alcanzar, solo déjalos
con fe en las manos de Dios y él te los concederá”*

Agradecimientos

Expresamos nuestra más sincera gratitud a nuestras familias por su apoyo incondicional en todo el proceso de formación como Ingenieros Forestales, pues fueron ellos quienes nos acompañaron en cada momento sin importar el estado de ánimo en el que nos encontrábamos, y quienes semestre a semestre avivaban la llama de la cercanía a la meta.

A nuestra Alma mater la Universidad Industrial de Santander por brindarnos el espacio y a las personas encargadas de nuestra formación profesional, además de ser nuestra segunda casa en donde aprendimos grandes lecciones de comportamiento, amistad y lealtad.

A la Corporación *COL-TREE* por el gran apoyo logístico, administrativo y financiero recibido para el desarrollo de este proyecto.

A cada una de las personas que participó de manera directa o indirecta en la toma de datos de las parcelas de investigación usadas para este estudio, por el esfuerzo, dedicación, profesionalismo y entrega con el que realizaron su trabajo.

A todas aquellas personas que creyeron en nosotros y nos aconsejaron sabiamente en cada decisión consultada, a nuestro amigo y director de Tesis Ingeniero *Diego Suescún Carvajal* persona de la que nos sentimos orgullosos por su absoluta entrega con el proyecto, disposición a en cualquier momento recibir y aclarar nuestras dudas, además, del infinito amor y pasión que demuestra por lo que hace, a el Doctor *Esteban Álvarez Dávila* por acompañarnos durante todo el proceso, pues a pesar de sus múltiples ocupaciones, sacaba de su preciado tiempo para atender nuestras dudas, a el Ingeniero *Wilmar López Oviedo* nuestro director de campo en la remediación de las parcelas y asesor estadístico por ser un gran maestro y ejemplo a seguir como persona y profesional, a el Doctor *Jorge Andrés Rodríguez Toro*, por ayudarme a entrar al gran mundo de los SIG, por

exigirme al máximo en cada uno de los trabajos, por llenar muchos de los vacíos académicos que presentaba, y por estar siempre dispuesto a dar su consejo y ayuda ante cualquier duda, , a nuestro estimado profesor *Luis Hernando Cordero* que aunque ya no nos acompaña como docente en la institución, fue la persona que se encargó de sembrar en nuestros corazones el gusto por la naturaleza, su diversidad y las maravillas de estar en campo, a el docente e Ingeniero Agrónomo *Rubén Carvajal* quien con su infinito conocimiento y paciencia, fue uno de nuestros mejores docentes durante toda la carrera, a la Doctora *Lizeth Marcela Torres* por enseñarnos lo que es el profesionalismo con su trabajo impecable dentro de la institución, además de darnos lecciones de vida que nos acompañaron durante toda nuestra carrera universitaria.

No menos importante y conscientes de que sería una lista interminable de personas y nombres, a todas los docentes y personas que dedicaron su tiempo a nuestra formación como profesionales integrales, nuestro más sincero respeto, afecto y admiración hacia esta humilde, silenciosa pero valiosa profesión.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	19
1. Objetivos	22
1.1 Objetivo General	22
1.2 Objetivos Específicos.....	22
2. Marco referencial	23
2.1 Marco histórico	23
2.2 Marco teórico	24
2.3 Marco conceptual.....	25
3. Métodos.....	28
3.1 Zona de estudio	28
3.2 Colecta, verificación y preparación de datos	31
3.2.1 Monitoreo de campo	31
3.2.2 Depuración y homologación de la base de datos	32
3.3 Tabulación de la diversidad florística	34
3.4 Estructura horizontal	35
3.4.1 Abundancia	35
3.4.2 Dominancia	36
3.4.3 Frecuencia	36

3.4.4 Índice de Valor de Importancia.....	36
3.5 Diversidad Alfa.....	37
3.5.1 Índice de diversidad de Margalef.....	38
3.5.2 índice de diversidad “Simpson”.....	38
3.5.3 Índice de diversidad de “Shannon-Wiener”.....	38
3.5.4 Índice de diversidad de Berger Parker (D)	39
3.5.5 Cociente de mezcla	39
3.6 Diversidad Beta.....	40
3.6.1 Coeficiente de similitud de Jaccard:	40
3.6.2 Coeficiente de similitud de Sørensen para datos cuantitativos.....	41
3.6.3 Índice de Morisita-Horn.....	41
3.7 Análisis de los efectos del gradiente altitudinal en la diversidad Beta.	42
3.8 Revisión de información secundaria.....	42
3.9 Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso hacia adelante (Barward).....	44
4. Resultados	44
4.1 Generalidades taxonómicas para los diferentes pisos altitudinales	44
4.1.1 Estimadores de riqueza no paramétricos y efectividad de muestreo	44
4.1.2 Cantidad de familias, géneros y especies por parcela.....	45
4.1.3 Número de individuos por parcela.....	46
4.1.4 Las familias con mayor cantidad de géneros y especies por parcela.....	47

4.1.5 Especies con algún grado de amenaza u endemismo.....	52
4.2 Índice de Valor de Importancia (IVI)	52
4.3 Diversidad Alfa.....	61
4.3.1 Índice de diversidad de Margalef.....	61
4.3.2 Índice de diversidad de Simpson	62
4.3.3 Índice de diversidad “Shannon-Wiener”	63
4.3.4 Índice de diversidad Berger Parker.....	64
4.3.5 Cociente de mezcla	65
4.4 Diversidad Beta.....	67
4.4.1 Coeficiente de similitud de Jaccard	67
4.4.2 Coeficiente de similitud de Sørensen.....	67
4.4.3 Índice de Morisita-Horn.....	68
4.5 Confrontación del gradiente altitudinal con la diversidad Beta.....	70
4.5.1 Test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y la altitud	70
4.5.2 Test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y la distancia geográfica	70
4.6 Indicadores bioclimáticos para las 13 parcelas de investigación permanente	70
4.7 Selección de las variables bioclimáticas que influyen en la variación de la diversidad	71
4.7.1 Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso hacia adelante para la variable de diversidad: familias.....	71

4.7.2 Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso hacia adelante para la variable de diversidad: géneros.	72
4.7.3 Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso hacia adelante para la variable de diversidad: especies.	73
5. Discusión.....	74
5.1 Diversidad taxonómica, cantidad de individuos por parcela y endemismos	74
5.2 Número de individuos por parcela.....	76
5.3 Endemismo	77
5.3 Índices de diversidad Alfa	78
5.4 Efecto del gradiente altitudinal en la diversidad Beta	79
5.5 Efecto de las variables meteorológicas en la diversidad Alfa.....	79
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	81
Referencias Bibliográficas	82
Apéndices.....	91

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Datos generales de las parcelas permanentes de investigación	30
Tabla 2. Las tres familias con mayor número de géneros por parcela.....	48
Tabla 3. Las tres familias con mayor número de especies por parcela.....	50
Tabla 4. Índice de diversidad de Margalef para las parcelas	62
Tabla 5. Índice de diversidad Berger Parker para las parcelas en estudio	65
Tabla 6. Cociente de Mezcla para las parcelas en estudio	66

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización de la zona de estudio en Colombia	28
Figura 2. Municipios en los que se ubican las Parcelas.....	29
Figura 3. Ubicación de las Parcelas.	30
Figura 4. Proceso computarizado que realiza TNRS para homologar los nombres científicos. Adaptado de Boyle et al., (2013)	33
Figura 5. Especies observadas Vs especies estimadas con modelos no paramétricos Jackknife y Chao 1	45
Figura 6. Número de familias, géneros y especies por parcela.....	46
Figura 7. Número de individuos por parcela	47
Figura 8. Especies con mayor IVI en la parcela Pantano Cim.....	53
Figura 9. Especies con el mayor IVI en la parcela Cimitarra	53
Figura 10. Especies con mayor IVI en la parcela Sabana de Torres.....	54
Figura 11. Especies con mayor IVI en la parcela San Cayetano	55
Figura 12. Especies con mayor IVI en la parcela Gonzales	55
Figura 13. Especies con mayor IVI en la parcela Cucutilla PM.....	56
Figura 15. Especies con mayor IVI en la parcela Betulia 1.....	57
Figura 14. Especies con mayor IVI en la parcela Betulia 2.....	57
Figura 16. Especies con mayor IVI en la parcela El Diviso	58
Figura 17. Especies con mayor IVI en la parcela El Rasgón.....	59
Figura 18. Especies con mayor IVI en la parcela Cucutilla.....	59

Figura 19. Especies con mayor IVI en la parcela Vetás MA.....	60
Figura 20. Especies con mayor IVI en la parcela Vetás PA	61
Figura 21. Índice de diversidad Simpson para las parcelas en estudio	63
Figura 22. Índice de diversidad “Shannon-Wiener” para las parcelas en estudio	64
Figura 23. Cladograma del coeficiente de similitud de Jaccard	67
Figura 24. Cladograma del coeficiente de similitud de Sørensen.....	68
Figura 25. Índice de Morisita-Horn	69
Figura 26. Test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y la altitud (R Core Team, 2019).....	70
Figura 27. Test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y la distancia geográfica (R Core Team, 2019)	71
Figura 28. Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso, para la variable de diversidad: familias (R Core Team, 2019).	72
Figura 29. Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso, para la variable de diversidad: géneros (R Core Team, 2019).....	73
Figura 30. Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso, para la variable de diversidad: géneros (R Core Team, 2019).....	74
Figura 31. Cantidad de endemismos registrados para cada una de las parcelas	78

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Especies endémicas, nativas y cultivadas o que se encuentran en algún estado de conservación	91
Apéndice B. Variables bioclimáticas para cada una de las parcelas de investigación	95
Apéndice C. Trabajo en campo en las parcelas de investigación	96
Apéndice D. Hoja joven de Cecropia telenivea colectada en la parcela El Rasgón	96
Apéndice E. Marcaje con tubos de PVC, cinta zapote, cinta de enmascarar y plaquetas de cada uno de los puntos que delimitan la parcela de investigación.	97
Apéndice F. Medición y demarcaje del DAP de árbol fenestrado.....	97
Apéndice G. Plaqueta de identificación única para cada individuo.....	98
Apéndice H. Marcaje con pintura asfáltica amarilla del DAP de un individuo arboreo	98
Apéndice I. Inventario en bosques de Betulia, Santander	99
Apéndice J. Muestra de Protium cundinamarsense encontrado en las parcelas Betulia 1 y 2.....	99
Apéndice K. Equipo de trabajo de campo	100
Apéndice L. Colecta de muestras Botánicas	100

Resumen

Título: efecto conjunto de un gradiente altitudinal y de variables meteorológicas en la composición florística de bosques naturales al norte de los Andes¹.

Autores: Víctor Alfonso Orjuela Márquez, Saider Arley Alvarado Rico².

Palabras clave: Parcelas permanentes, Endemismos, Diversidad Alfa, Diversidad Beta, Recambio de especies.

Descripción:

Comprender la relación que tienen los factores ambientales en la conformación de las comunidades vegetales, se ha convertido en una herramienta clave para estudiar la diversidad de los bosques naturales. Para este fin, la región de los Andes tropicales es el laboratorio ideal, pues debido a su orografía predominantemente montañosa, se presentan múltiples gradientes ambientales, que han generado altos valores de diversidad y endemismos. Por lo cual, en este estudio se tomaron los datos de 13 parcelas permanentes, cada una de 1 ha, ubicadas en un gradiente altitudinal que va entre 108 y 3222 msnm, y que comienza en el bosque húmedo tropical y termina en el páramo. En cada una de las parcelas se inventariaron todos los individuos con un DAP mayor a 10 cm. Se determinó la diversidad Alfa y diversidad Beta mediante diferentes índices, se hicieron correlaciones y regresiones entre variables meteorológicas y variables de diversidad. Para las 13 parcelas del gradiente altitudinal se registraron 87 familias, 242 géneros y 582 morfoespecies. La diversidad Beta β Sim mostró una marcada línea divisoria en cada uno de los pisos altitudinales, presentándose gran variación en la composición florística y dominancia de las especies. Además, a través de un test de Mantel se explica que la diversidad Beta está relacionada con la altitud y la distancia geográfica. También, se encontró que la riqueza de familias, géneros y especies está correlacionada con la altitud y con algunas variables meteorológicas. En síntesis, la altitud al ser un factor directamente correlacionado con las variables bioclimáticas de una zona, es uno de los principales factores que determina el aumento o disminución de la riqueza y dominancia de las comunidades vegetales, a la vez que ayuda a generar la alta tasa de recambio de especies que se presenta a lo largo del gradiente altitudinal en estudio.

¹ Trabajo de Grado

² Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Suescún Carvajal, Diego. MSc. En Bosques y Conservación Ambiental. Codirector: Álvarez Dávila, Esteban. PhD Ecología, Conservación y Restauración de Ecosistemas

Abstract

Title: joint effect of an altitudinal gradient and meteorological variable on the floristic composition of natural forests at the North of Los Andes³.

Authors: Víctor Alfonso Orjuela Márquez, Saider Arley Alvarado Rico⁴.

Key words: Permanent plots, endemism, Alfa diversity, Beta diversity, spare apart of species

Description:

To understand the relationship of the environmental factors on the conformation of plant communities, it has become into a key tool to study the diversity of natural forests. For this purpose, the tropical Andes region is considered the ideal laboratory, because due to its predominant mountainous orography, multiple environmental gradients are presented, which have generated high diversity values and endemism. For this reason, in this study the data from 13 permanent plots was taken, each one of them of a hectare, located at an altitudinal gradient which is between 108 and 3222msnm, and that starts at trop rain forest and finishes at the moor. In each one of the plots all individuals were inventoried with a DAP grater than 10 cm. The Alfa and Beta diversities were determined throughout different indexes, correlations and regressions between meteorological variables and diversity variables were made. For the 13 plots of the altitudinal gradient 87 families were registered, 242 genders and 582 morphospecies. The diversity Beta β_{Sim} reveled a sharp dividing line in each one of the altitudinal floors, presenting great variation in the floristic composition and dominance of the species. Furthermore, throughout a Mantel test it is explained that the Beta diversity is related to the altitude and geographic distance. Also, it was found that the wealth of plant families, genders and species is correlated to the altitude with some meteorological variables. To summarize, since the altitude is a direct and correlated factor of the bioclimatic variables of an area, it is one of the main factors that determines the increase or decrease of the wealth and dominance of the plant communities, while it helps to generate the high replacement rate of the species that are presented along the altitudinal gradient in study.

³ Trabajo de Grado

⁴ Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Suescún Carvajal, Diego. MSc. En Bosques y Conservación Ambiental. Codirector: Álvarez Dávila, Esteban. PhD Ecología, Conservación y Restauración de Ecosistemas

Introducción

En Colombia, la región Andina abarca cerca del 25% de la superficie nacional, dentro de los cuales se calcula que hay más de 150 ecosistemas diferentes (Armenteras & Rodríguez, 2007). Según Ávila et al (2009), esta región ha estado sometida a procesos de inmigración y asentamientos humanos, convirtiéndose en un foco de presión demográfica lo que aumenta la demanda de servicios ambientales, económicos y culturales. Pese a esto, los avances en el conocimiento de la composición, la estructura y la función de estos ecosistemas, así como de las alternativas de manejo de especies aún son limitados, lo que ha contribuido a la homogenización del paisaje, la erosión y la irregularidad hidrológica (Etter & Wyngaarden, 2016).

Muchos son los factores que han contribuido a la pérdida y degradación de estos ecosistemas, sometiéndolos a procesos de explotación, colonización, deforestación, fragmentación y extracción de recursos maderables y no maderables, algunos de estos factores han sido: la expansión demográfica, el alto nivel de desigualdad social (pobreza), el establecimiento de cultivos ilícitos, la apertura de nuevas carreteras y la casi inexistente planificación en la expansión de varias actividades como los sistemas agropecuarios, la minería, la extracción de gas, entre otros (Armenteras et al., 2011; Bohorquez et al., 2011).

Dichos factores han promovido la pérdida acelerada del bosque natural, al punto de encontrar pequeños fragmentos que únicamente son conservados por su alta pendiente o difícil acceso, por presentar suelos poco productivos, o por ser fragmentos protegidos por alguna figura legal de áreas protegidas (Rangel, 2000). Lo anterior, resulta especialmente cierto en Colombia, donde los bosques de la región Andina han perdido aproximadamente el 75% de la cobertura forestal original (Armenteras et al., 2003). Además, si se toma en cuenta que aproximadamente el 80% de los 45

millones de personas que habitan en el país viven en la región Andina de Colombia, se puede hacer una idea de cómo ésta influencia antropogénica ha dejado una gran marca en el escenario actual de estos bosques naturales (Alvarez et al., 2012).

Varios estudios sugieren, a partir de estimaciones, que en Colombia queda menos del 10% de los bosques andinos originales y, probablemente, un poco menos del 5% de los bosques altoandinos (Betancur et al., 2003), convirtiéndose en uno de los ecosistemas menos conocidos y más amenazados en los trópicos (Price et al., 2011; Tejedor et al., 2012). Por consiguiente, el estudio y conservación de los bosques de la región Andina se ha vuelto una prioridad global debido a su gran biodiversidad, alto grado de endemismos (Bush et al., 2007; Pennington et al., 2010), y a su importante papel para la provisión de diferentes servicios ecosistémicos (Anderson et al., 2011; Balvanera, 2012). Así pues, los bosques andinos que se distribuyen entre 1000 y 3500 msnm son una de las áreas críticas para la conservación a nivel mundial, ya que se estima que el 50% de las especies de plantas presentes en estos ecosistemas no se encuentran en ningún otro lugar del planeta (Alvear, Betancur, & Franco-Rosselli, 2010).

Dado el desalentador escenario actual, es que surge la necesidad de ejecutar el presente estudio, pues mediante la evaluación de la influencia que tienen los factores altitudinales y meteorológicos en la distribución de la diversidad arbórea, se provee una herramienta clave para la planeación y generación de estrategias que permitan evaluar los posibles impactos del cambio climático sobre tales zonas de vida, lo que posibilita que se creen y propongan sobre bases científicas reales, proyectos que permitan a futuro incrementar la cobertura vegetal nativa y recuperar la conectividad entre fragmentos (Álvarez et al., 2007).

Además de esto, el presente estudio ofrece la posibilidad de generar conocimiento sobre la diversidad florística de los bosques de tres departamentos del país Santander, Norte de Santander

y Cesar, dando reconocimiento a su diversidad arbórea a nivel regional y Nacional (Bohorquez et al., 2011). En síntesis, los resultados de este estudio ofrecerán información útil para la planeación y ejecución de los futuros esfuerzos de conservación y restauración, como también para la creación e imposición de diferentes estrategias y mecanismos de protección que aseguren que este tipo de ecosistemas van a perdurar en el tiempo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto conjunto de un gradiente altitudinal y de algunas variables meteorológicas en la composición florística en bosques naturales tropicales en parcelas permanentes de investigación (PPI).

1.2 Objetivos Específicos

Determinar la diversidad Alfa en cada uno de los pisos altitudinales.

Analizar la diversidad Beta entre los pisos altitudinales.

Determinar cuáles son las variables meteorológicas que influyen en la composición florística de cada uno de los pisos altitudinales.

2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

Colombia es uno de los países con mayor biodiversidad a nivel mundial, buena parte de la cual está concentrada en los ecosistemas de montaña (Van der Hammen & Rangel, 1997). La gran riqueza de la flora de la zona Andina colombiana y de las montañas tropicales es el resultado de múltiples fenómenos ocurridos en el pasado, especialmente el levantamiento de la cordillera de los Andes que trajo consigo la aparición de ambientes con características que brindaron oportunidades únicas para los procesos de especiación y adaptación (Alvear et al., 2010; Hooghiemstra & Van der Hammen, 2010). Por otro lado, los múltiples cambios climáticos ocurridos durante el cuaternario incidieron profundamente en la composición y la estructura de la vegetación de los bosques Andinos, generándose inmigraciones repetidas de elementos florísticos provenientes de algunas de las regiones templadas de los continentes (Betancur et al., 2003).

Pero los aspectos fitogeográficos de la flora colombiana son desconocidos en su mayoría, pues solo se conocen las contribuciones hechas por Caldas en el siglo XIX, siendo más tarde enriquecidas con las contribuciones de Cuatrecasas (1934, 1958) cuyos trabajos constituyen la base del conocimiento de la fitogeografía Andina de Colombia (Rangel & Velazquez, 1997). Después, Van der Hammen y Jaramillo presentaron las primeras contribuciones al conocimiento de la fitogeografía de los bosques de roble en la Cordillera Oriental colombiana (Hernández et al., 2011).

El interés público hacia la conservación del bosque tropical ha ido en aumento los últimos 30 años, tanto así que llegó a ser reconocido como uno de los principales centros de diversidad y

especiación en el mundo (Gárzon & López, 2000; Kappelle & Brown, 2001), mientras que la aplicación de su manejo ha disminuido o no se ha realizado. En este mismo periodo, la investigación de ecosistemas tropicales se ha incrementado notablemente, pero muy pocos de todos esos resultados se han incorporado a la práctica. Esto debido en gran parte a que los bosques han sido aprovechados sin tener en cuenta las poblaciones que viven en, o alrededor de ellos. Por otro lado, las investigaciones pocas veces han dado respuesta a las políticas de los gobiernos para conocer el estado de arte de sus recursos boscosos (Gárzon & López, 2000).

2.2 Marco teórico

Según Bird Life, International, Boyla, & Estrada (2005), la eco-región de los Andes tropicales es la más rica y diversa del mundo desde un punto de vista biológico. En esta zona, Perú, Colombia, Ecuador, Venezuela y Bolivia, han sido incluidos en la lista de los 17 países más megadiversos, los cuales contienen dentro de sus fronteras geográficas más de dos terceras partes de la riqueza biológica del planeta (Myers et al., 2000).

La mayoría de los estudios han definido que la riqueza y diversidad de especies es inversamente proporcional a la altitud (Gentry, 1995). Sin embargo, algunos sugieren en cambio que la riqueza y diversidad de especies se magnifica en alturas intermedias como respuesta a las restricciones fisiográficas asociadas con la topografía de las montañas (McCain, 2004). En los bosques de la región Andina, la alta variación ambiental parece promover cambios bruscos en la estructura, composición y dinámica de la vegetación, incluso a escalas espaciales relativamente pequeñas (Homeier et al., 2009; López & Duque, 2010).

A pesar de que los bosques de la región Andina tienen una extensión de 1/20 con relación a los bosques amazónicos, estos dos tipos de bosques tienen un número similar de especies de plantas (Henderson et al., 1991). Asimismo, los Andes tropicales son considerados como una de las regiones más diversas del planeta gracias a su alto grado de especiación, producto de la expansión de las áreas de las especies andinas a través de los cambios ocurridos durante el periodo del Pleistoceno (Hernández et al., 2011; Van der Hammen & Cleef, 1983).

Actualmente, se sabe que los bosques de los Andes son ecosistemas vulnerables al cambio climático, que afecta de manera directa las interacciones ecológicas y la estructuración de las comunidades vegetales (Girardin et al., 2014; Fernández, 2018).

Todas estas condiciones únicas hacen de los Andes un foco para la investigación y para la búsqueda de conocimiento ecológico útil para plantear medidas de conservación y restauración (Tejedor et al., 2012).

La inclusión de gradientes altitudinales en estudios de bosques tropicales es de vital importancia, pues se han convertido en una gran herramienta para comprender la relación entre el ambiente y la composición de comunidades vegetales a escalas variadas (Gentry, 1995; Prada et al., 2017). Los gradientes altitudinales Andinos oscilan entre los 0 y 5500 m, además cada región en particular presenta patrones diversos del comportamiento contrastante de las variables ambientales (Fernández, 2018; Halbritter, Alexander, Edwards, & Billeter, 2013; Quintero, Wunder, & Estrada, 2009).

2.3 Marco conceptual

❖ Diversidad

Es el número de especies en una unidad de área, abarca dos componentes principales, la riqueza que es el número de especies por área y la equitatividad que número de individuos de una sola especie presentes en un área determinada (Smith & Smith, 2001).

❖ Diversidad Alfa

Es la riqueza de un área en particular a la que se considera homogénea y cuyo tamaño determina el número de especies, por la relación área-especies, en la cual se supone que a mayor área mayor cantidad de especies (Moreno, 2001).

En la actualidad existen muchos índices para medir la diversidad Alfa de un sitio (Magurran, 1988), cada uno se debe usar dependiendo del tipo de información que se desea analizar, es decir, que algunas de las variables de respuesta tienen diversas formas de analizarse. Por ejemplo, si la variable de respuesta que se está analizando es el número de especies, se puede hacer uso de un índice de la riqueza específica, pero en cambio si se quiere medir la equidad se pueden usar índices de abundancia entre todas las especies, o bien conjugarlos en un solo índice de información sobre la riqueza específica y equidad (Sonco, 2013).

❖ Equidad

se refiere a la igualdad en las abundancias de las diferentes especies; y normalmente se evalúa tomando en cuenta el número de especies dominantes en relación con el número de especies poco comunes (Magurran, 2004; Moreno et al., 2006). Así, entre mayor cantidad de especies haya en un sitio y más homogénea sea su distribución, más alta será la diversidad de este (Sonco, 2013).

❖ Diversidad Beta

También conocida como diversidad entre hábitats, es el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico a través de gradientes ambientales (Whittaker, 1972). A diferencia de las diversidades Alfa y gamma, que pueden ser medidas de una forma relativamente fácil en función

del número de especies, la medición de la diversidad Beta se basa en proporciones (Magurran, 1988), dichas proporciones pueden medirse con base en índices o coeficientes de similitud, disimilitud o de distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos (presencia ó ausencia de especies), cuantitativos o bien sea con índices de diversidad Beta propiamente dichos (Wilson & Shmida, 1984).

❖ Parcelas permanentes de investigación

Es aquella parcela que se establece con la finalidad de que perdure un mínimo de 20 años en el bosque y cuya adecuada demarcación permita saber la ubicación exacta de sus límites y puntos de referencia a través del tiempo, así como también de cada uno de los individuos que están inmersos dentro de ella, los cuales son analizados por medio de observaciones periódicas, de tal forma que se pueda obtener el mayor volumen de información de un sitio o de una comunidad determinada (Brenes, 2014).

❖ Endemismo

Es aplicable a cualquier grupo vegetal o animal, cuya distribución geográfica sea exclusiva de un área en consideración (Devia et al., 2014).

❖ Test de Mantel

El test de Mantel estima el grado de correlación existente entre dos matrices (X, Y). Esta técnica postula que las distancias-similitudes entre las variables de la matriz respuesta Y están o no linealmente correlacionadas con las correspondientes distancias-similitudes en la matriz modelo X. Así pues, este test permite evaluar si la asociación (positiva o negativa) es más robusta de lo que cabría esperar por pura estocástica (Olano & Luzuriaga, 2008).

3. Métodos

3.1 Zona de estudio

La zona de estudio (*Figura 1*), está distribuida en los departamentos de Santander, Norte de Santander y Cesar. El abarcar esta gran zona permitirá evaluar la diversidad de bosques que tienen diferentes características fisiográficas y ambientales.



Figura 1. Localización de la zona de estudio en Colombia

En los municipios de (Figura 2): Puerto Olaya, Cimitarra, Sabana de Torres, Betulia, Floridablanca, Piedecuesta, San Cayetano, Cucutilla, Silos y Rio de Oro.

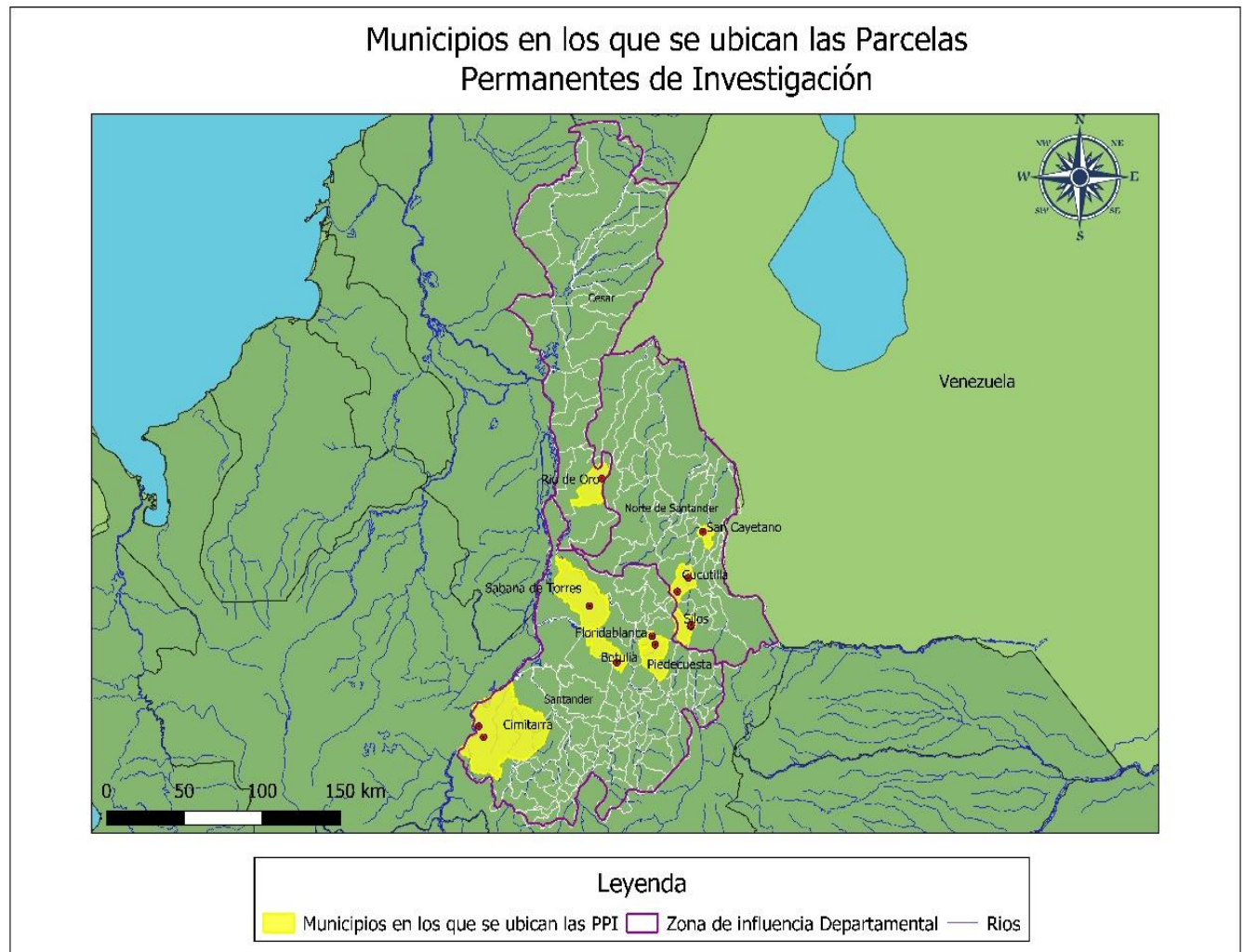


Figura 2. Municipios en los que se ubican las Parcelas.

La ubicación precisa de los puntos en los que se ubican las parcelas se puede observar en la *Figura 3.*

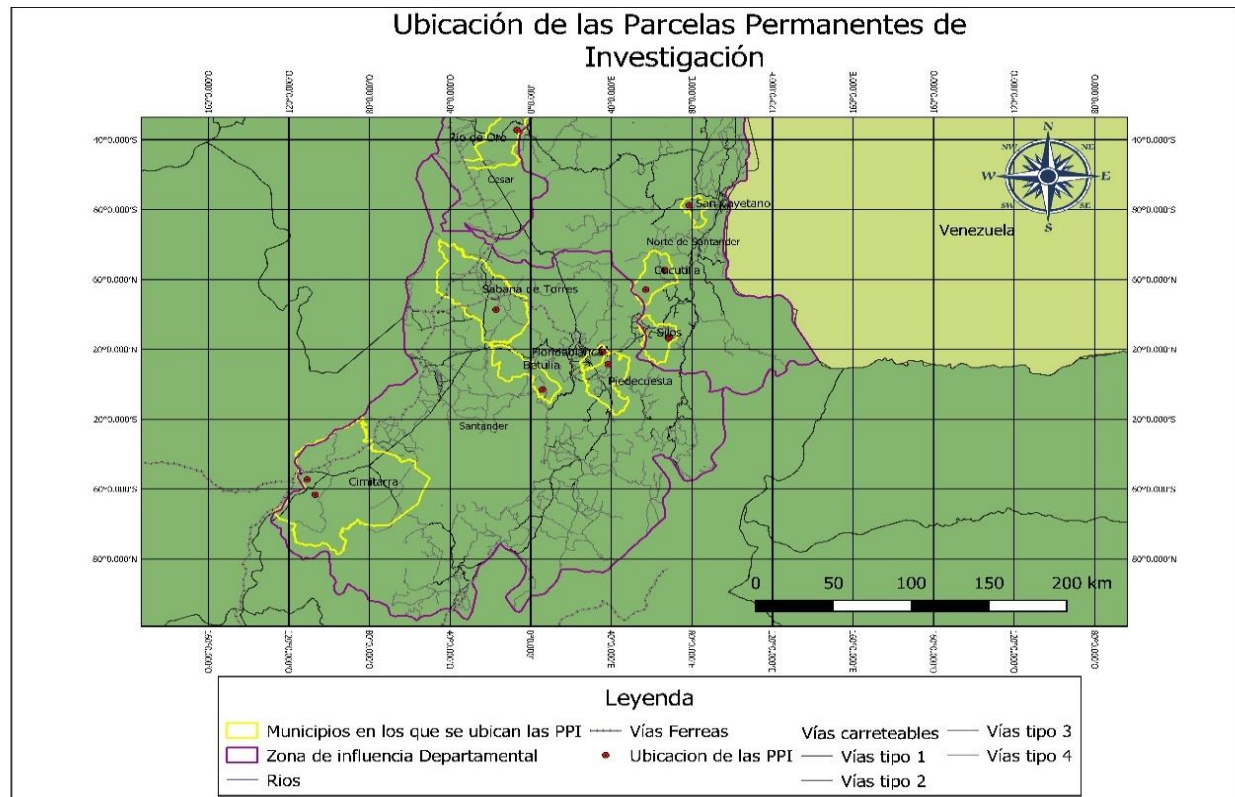


Figura 3. *Ubicación de las Parcelas.*

Los datos generales de las parcelas utilizadas en el estudio se presentan en la *Tabla 1*.

Tabla 1.

Datos generales de las parcelas permanentes de investigación

Nombre	Departamento	Municipio	Coordenadas		Altitud	Zona de vida
			N	O		
Pantano Cim	Santander	Cimitarra	6°27'14.40"	74°21'25.20"	108	bh-T
Cimitarra	Santander	Cimitarra	6°22'30.00"	74°19'15.60"	125	bh-T
Sabana de Torres	Santander	Sabana de Torres	7°19'58.80"	73°30'32.40"	172	bh-T
San Cayetano	Norte de Santander	San Cayetano	7°52'15.60"	72°38'16.80"	277	bs-T
Gonzales	Cesar	Río de Oro	8°15'46.80"	73°24'46.80"	1733	bh-PM

Cucutilla PM	Norte de Santander	Cucutilla	7°32'9.60"	72°45'3.60	1824	bmh-PM
Betulia 2	Santander	Betulia	6°55'4.80"	73°18'3.60	2118	bmh-MB
Betulia 1	Santander	Betulia	6°55'4.79"	73°18'3.62"	2118	bmh-MB
El Diviso	Santander	Floridablanca	7°6'43.20"	73° 1'48.00"	2281	bmh-MB
El Rasgón	Santander	Piedecuesta	7°2'56.40"	73° 0'21.60"	2398	bmh-MB
Cucutilla	Norte de Santander	Cucutilla	7°26'6.00"	72°50'6.00"	2519	bh-MB
Vetas MA	Norte de Santander	Silos	7°10'58.80"	72°44'2.40"	2689	bh-M
Vetas PA	Norte de Santander	Silos	7°11'31.20"	72°43'44.40"	3222	Páramo

3.2 Colecta, verificación y preparación de datos

3.2.1 Monitoreo de campo. En el proceso de mantenimiento, y remediación de las parcelas fue desarrollado por parte de la Corporación COL-TREE en asocio con los proyectos RAINFOR y BRAVO el cual es financiado por el Royal Botanical Gardens (KEW), el monitoreo de campo tuvo una duración temporal de tres meses en los que se tomaron datos correspondientes a: Ubicación de cada una de las parcelas con coordenadas geográficas a través de GPS. Medición de los fustales (DAP > 10 cm), tanto a los individuos ya plaqueteados como a los nuevos ingresos, esto se hizo usando cintas diamétricas.

- La altura del mínimo de individuos necesarios para definir la media por clase diamétrica, haciendo uso de un distanciómetro láser.
- Se realizó la identificación preliminar de las especies encontradas, para ubicar a cada uno de los individuos dentro del nivel de clasificación taxonómica más precisa posible (morfoespecie); los individuos a los cuales no se les logró dar una clasificación precisa fueron

colectados con tijeras podadoras, corta-ramas y en los casos en los que los árboles eran demasiado altos con equipos de escalada.

Todos estos procedimientos fueron realizados de manera tal que se siguiera la metodología establecida en el “Manual de Campo para el Establecimiento y la Remedición de Parcelas” de RAINFOR (Phillips et al., 2016)

Los equipos de trabajo para la realización del mantenimiento y remedición de las parcelas, se conformaban por 5 o 7 personas las cuales eran, un coordinador de equipo (por lo general es un Ingeniero Forestal experimentado), un técnico ambiental o forestal, dos estudiantes de Ingeniería Forestal o Biología, un escalador profesional, y entre uno y dos baquianos dependiendo de las labores planeadas para cada día.

3.2.2 Depuración y homologación de la base de datos. Luego de recibida la base de datos obtenida en campo, se procedió a realizar una verificación y eliminación exhaustiva de posibles errores y datos con fallas humanas, para evitar así posibles desviaciones y falencias en los resultados. El proceso de homologación de la información se llevó a cabo con la aplicación en línea llamada Taxonomic Name Resolution Service (TNRS), que es una herramienta para la estandarización de nombres científicos de plantas asistida por computadora, la cual realiza un proceso que hace coincidir cada nombre registrado, a un nombre científico publicado en la base de datos TNRS, también corrige la ortografía de ser necesario. Una vez que el nombre ha coincidido, si el nombre es sinónimo, se convierte al nombre correcto o aceptado (Boyle et al.,

2013). La aceptación computarizada es un proceso de decisión basado en la máquina y se explica gráficamente así:

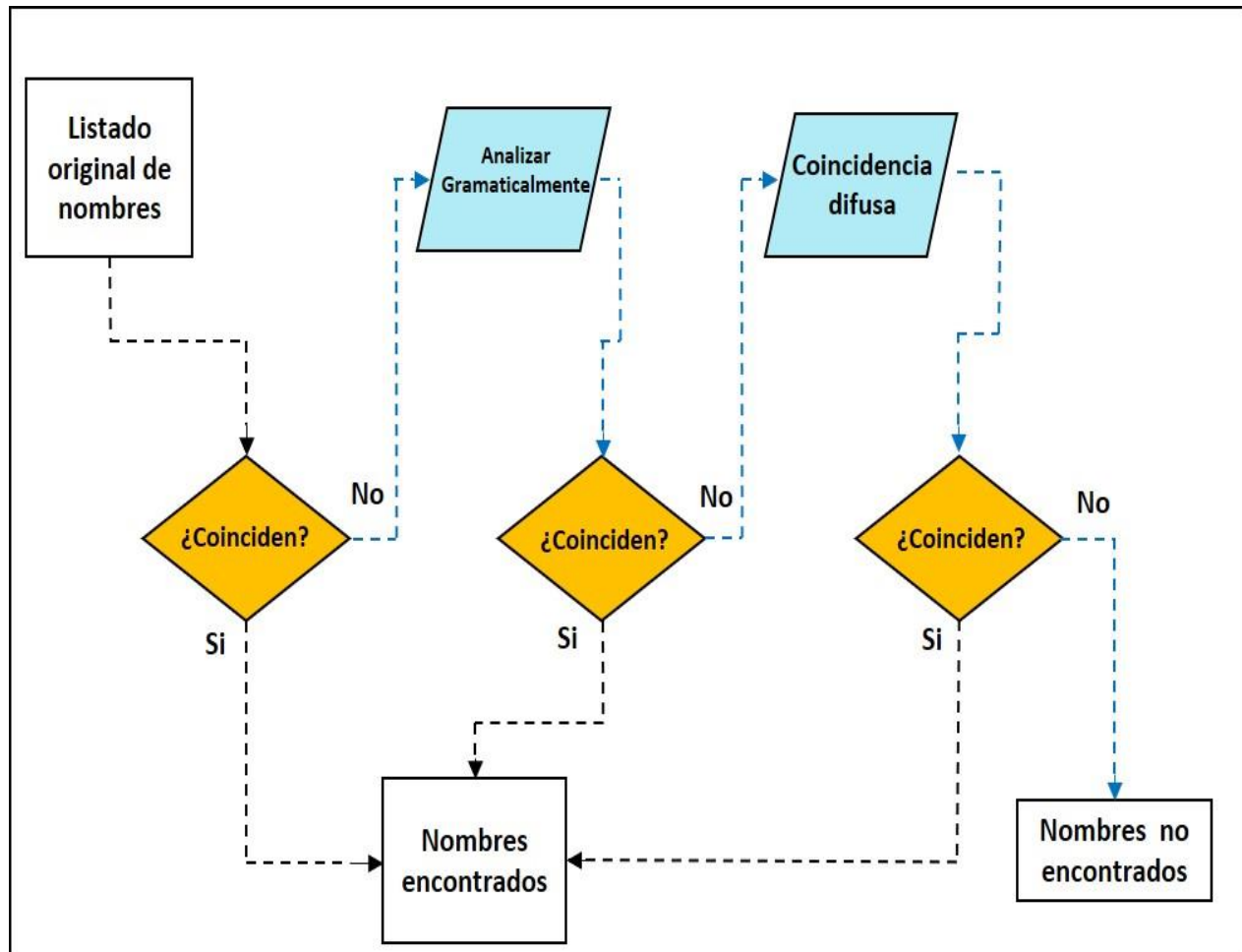


Figura 4. Proceso computarizado que realiza TNRS para homologar los nombres científicos. Adaptado de Boyle et al., (2013). Taxonomic Name Resolution Service. Recuperado de <http://tnrs.iplantcollaborative.org/about.html>.

Esto permitió que, al correr la base de datos en cada uno de los softwares utilizados en este estudio, se generaran resultados verídicos y de baja incertidumbre.

3.3 Tabulación de la diversidad florística

La diversidad biológica se refiere a la variedad y abundancia de especies presentes en cierta área, su composición genética, comunidades, ecosistemas y paisajes en los que esta hace parte; Igualmente, son las estructuras ecológicas, funciones y procesos de todos los niveles (Magurran, 1988). Al determinar la diversidad presente en cada una de las parcelas, se pueden planear y ejecutar de mejor forma medidas de conservación que permitan asegurar la permanencia y especiación del bosque (López & Duque, 2010).

La base para poder estudiar la diversidad de la zona fue el proceso de identificación botánica, este proceso se realizó en cuanto fue posible en campo, de lo contrario se colectaron las muestras de hojas, flores y frutos (cuando estaban) las cuales fueron enviadas al Herbario de la Universidad del Tolima (herbario Toli), en donde mediante la observación de sus características morfológicas definieron la familia y el nombre científico. Además de esto, la mayoría de las muestras pasaron por un proceso de verificación y homologación de la mano de profesionales expertos en familias, en distintos talleres y encuentros que se realizaron en todo el país.

Los nombres científicos actuales de las especies se registraron en campo de acuerdo con lo disponible en la página The Plant List (The Plant List, 2013).

Este estudio en específico usa algunas herramientas de evaluación y medición de la diversidad tales como la tabulación y organización de la información

Se conformaron diferentes tablas resumen y figuras para mostrar la importancia relativa de los diferentes taxones en cada una de las parcelas:

- Una que contiene el número de familias, géneros y especies por parcela.
- Una que contiene el número de individuos por parcela.

- Una que expone cuáles son las familias con más géneros y especies en toda el área muestreada.
- Una en la que se registraron cuáles están en alguna categoría de amenaza y cuáles son endémicas según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2019) y el Catálogo de Plantas y Líquenes de Colombia (R. Bernal, Gradstein, & Celis, 2015).

3.4 Estructura horizontal

La estructura horizontal se evaluó con base a el listado de todas las familias, géneros, especies e individuos que se encontraron en el inventario, toda la información fue depurada procesada y tabulada, luego se procedió a calcular los siguientes valores:

3.4.1 Abundancia. Una vez obtenido el total de árboles inventariados, se calculó la abundancia y se definieron las 10 especies más abundantes para cada uno de los trece sitios de estudio. La abundancia se refiere al número de individuos por especie en relación con la cantidad total de individuos. Se distinguen dos tipos, la primera es la abundancia absoluta que es el número de individuos por especie y la segunda, la abundancia relativa que es la proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema (Lamprecht, 1990).

➤ Abundancia absoluta = número de individuos por especie

➤ Abundancia relativa = $(n_i / N) \times 100$

Dónde

n_i = número de individuos de la i ésima especie

N = número de individuos totales en la muestra

3.4.2 Dominancia. Una vez definido el número total de árboles inventariados, se calculó la dominancia de cada una de las especies en sus respectivos sitios. La dominancia es el grado de cobertura de las especies en relación con el espacio ocupado por cada una de ellas y se determina como la suma de las áreas basales (Lamprecht, 1990). Existen dos formas de medir la dominancia:

- Dominancia absoluta (Da)= sumatoria del área basal (m^2/ha) de todos los individuos de cada especie
- Dominancia relativa $D\% = (DaS / DaT) \times 100$

Dónde:

DaS = dominancia absoluta de cada especie

DaT = dominancia absoluta de todas las especies

La dominancia relativa es la relación expresada en porcentaje entre la dominancia absoluta de cada especie y el total de las dominancias absolutas de todas las especies consideradas en el área inventariada (Lamprecht, 1990).

3.4.3 Frecuencia. La frecuencia relativa de las especies mide su dispersión dentro la comunidad vegetal.

Al tener parcelas permanentes extensas (1 ha) se toma la decisión de establecer la frecuencia a nivel de parcela, es decir que cada una de las especies tuviera una frecuencia absoluta de 1.

Con base en lo anterior, la frecuencia relativa fue calculada para cada una de las especies.

3.4.4 Índice de Valor de Importancia. El índice de Valor de Importancia (IVI) fue calculado a través del programa Excel, al tabular y calcular todos los valores correspondientes a cada una de las especies presentes en cada sitio inventariado. Por medio del IVI se pudo hacer la estimación de

la importancia ecológica de las especies vegetales presentes en las comunidades de los bosques en estudio (Urrego et al., 2000).

El IVI (Lamprecht, 1990), se generó al sumar las abundancias, frecuencias y dominancias relativas. El máximo valor que puede alcanzar es de 300 e indica la importancia estructural de una especie en particular respecto a la comunidad florística muestreada. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$IVI = ArR + DoR + FrR$$

Donde:

AbR = Abundancia Relativa

DoR = Dominancia Relativa

FrR = Frecuencia Relativa

Para hallar un porcentaje efectivo del IVI se procedió a dividir cada uno de los valores anteriormente obtenidos en tres, de esta forma se obtuvo el IVI final de cada una de las especies (Aguirre, Reyes, Quizhpe, & Cabrera, 2017).

Después se evaluó la diversidad florística Alfa y Beta, para esto se tuvo en cuenta el listado de fustales registrados en el inventario. Toda la información fue procesada y tabulada, para luego ser guardada en un archivo tipo texto (delimitado por tabulaciones), el cual se cargó en los programas Past Versión 3.26b (Hammer, Harper, & Ryan, 2001) y EstimateS Versión 9.1 (Colwell, 2013) en los que se calcularon los siguientes índices:

3.5 Diversidad Alfa

3.5.1 Índice de diversidad de Margalef. Este índice se emplea en comunidades a las que se les han determinado el número de especies presentes y la abundancia total. Una de sus desventajas es que no tiene en cuenta la abundancia particular de cada una de las especies o taxones (Magurran, 1988). Se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

3.5.2 índice de diversidad “Simpson”. Este índice predice la probabilidad de que dos árboles que sean tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Peet, 2002). Además, como su valor es inverso a la equidad, la diversidad se calcula como $1 - \lambda$ (Lande, 1996). Se calcula con la siguiente fórmula: $\lambda = \sum p_i^2$

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde:

p_i = Abundancia relativa de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

3.5.3 Índice de diversidad de “Shannon-Wiener”. Este índice expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra; pues mide el grado promedio

de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Peet, 2002). Asume que los árboles son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Toma valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S (número total de especies registradas) cuando todas las especies están representadas por el mismo número de árboles (Lande, 1996). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

Pi = Abundancia relativa

ln = Logaritmo natural

3.5.4 Índice de diversidad de Berger Parker (D). Este índice de dominancia varía entre 0 y 1, entre más se acerca a 1 significa que mayor es la dominancia y menor la diversidad (Moreno, 2001). La fórmula con la que se calcula es:

$$D = N_{\max} / N$$

Donde:

Nmax = abundancia de la especie dominante

N= Número total de individuos de la muestra

3.5.5 Cociente de mezcla. El cociente de mezcla es un indicador que permite determinar de cierta manera que tan homogéneo o heterogéneo es el bosque inventariado (Moreno, 2001). El cociente de mezcla se calculó con la siguiente fórmula:

$$CM=S/N$$

S: número de especies

N: número total de individuos

Este indicador se interpreta así:

Valores cercanos a cero (0): poco mezclado; bosque homogéneo; Valores cercanos a uno (1): muy mezclado; bosque heterogéneo.

3.6 Diversidad Beta

3.6.1 Coeficiente de similitud de Jaccard: Es un índice de diversidad Beta cualitativo, es decir que no tiene en cuenta la abundancia, solo la presencia. Este índice relaciona el número de especies compartidas entre las dos comunidades con el número total de especies exclusivas de cada una de ellas.

El coeficiente de similitud de Jaccard se calculó con la siguiente formula:

$$Ij= c/a+b-c$$

a= número especies en sitio A

b= número especies en sitio B

c= número especies compartidas entre A y B

El índice de Jaccard se interpreta de la siguiente manera:

Los valores van desde cero (0) cuando no se comparten especies, hasta uno (1) cuando tienen las mismas especies (Moreno, 2001).

3.6.2 Coeficiente de similitud de Sørensen para datos cuantitativos. Es un índice de diversidad Beta cuantitativo, es decir, que sí tiene en cuenta las abundancias. Este índice relaciona la abundancia de las especies compartidas con la abundancia total entre las dos muestras (Moreno, 2001).

El índice de Sørensen se calculó con la siguiente fórmula:

$$IS = \frac{2pN}{aN + bN}$$

aN= No total de individuos sitio A

bN= No total de individuos sitio B

pN= Sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas entre ambos sitios.

3.6.3 Índice de Morisita-Horn. El índice de Morisita-Horn calcula la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar, cada uno de un sitio o grupo diferente sean de la misma especie. Para cualquier par de grupos el valor se encuentra entre 0 y 1, siendo los valores más cercanos a uno los más similares.

Estos valores dependen del número de especies comunes y de la abundancia relativa de las mismas (Magurran, 1988). La fórmula con la que se calcula es:

$$I_{M-H} = \frac{2 \sum (an_i * bn_j)}{(da + db)aN * bN}$$

Donde:

an_i = número de individuos de la i-ésima especie en el sitio A

bn_j = número de individuos de la j-ésima especie en el sitio B

$$da = \sum ani^2 / aN^2$$

$$db = \sum bnj^2 / bN^2$$

3.7 Análisis de los efectos del gradiente altitudinal en la diversidad Beta.

Para verificar si las diferencias encontradas en el recambio de la diversidad a nivel de especie obedecen o no a una autocorrelación con la altitud, se realizó un análisis geoestadístico en el que a través de un test de Mantel con Vegan (Oksanen et al., 2019), se hizo la comparación entre la matriz de distancia Bry-Curtis de la composición y abundancias de especies de las parcelas y la matriz de distancia euclídea de la altitud. También, se realizó otro test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y las distancias geográficas de las parcelas para determinar si las diferencias encontradas obedecen a una autocorrelación espacial.

3.8 Revisión de información secundaria

Las variables meteorológicas usadas en el estudio fueron extraídas de la base de datos WorldClim2 (Fick & Hijmans, 2017), dichas variables bioclimáticas son datos que se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación convirtiéndose así en variables biológicamente significativas. A menudo, estas variables son usadas en modelos de distribución de especies y técnicas de modelos ecológicos relacionados. Fick & Hijmans (2017), mencionan que las variables bioclimáticas se dividen en tres grupos:

1. Tendencias anuales (por ejemplo, Temperatura media anual, precipitación anual)
2. Estacionalidad (por ejemplo, Rango anual de temperatura y precipitación)

3. Factores ambientales extremos o limitantes (por ejemplo, Temperatura del mes más frío y más cálido, y precipitación de la humedad y cuartos secos). Para el caso de dichas variables un trimestre es un período de tres meses (1/4 del año).

Las variables bioclimáticas se codifican de la siguiente manera:

BIO1 = Temperatura media anual

BIO2 = Rango Diurno Medio (Promedio de mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))

BIO3 = Isotermalidad ($BIO2 / BIO7$) (* 100)

BIO4 = Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)

BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido

BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío

BIO7 = Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)

BIO8 = Temperatura media del trimestre más húmedo

BIO9 = Temperatura media del trimestre más seco

BIO10 = Temperatura media del trimestre más cálido

BIO11 = Temperatura media del trimestre más frío

BIO12 = Precipitación anual

BIO13 = Precipitación del mes más húmedo

BIO14 = Precipitación del mes más seco

BIO15 = Estacionalidad de precipitación (Coeficiente de variación)

BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo

BIO17 = Precipitación del trimestre más seco

BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido

BIO19= Precipitación del trimestre más frío

3.9 Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso hacia adelante (Barward).

Se creó una matriz que contenía el número de familias, número de géneros, número especies, número de individuos, altitud y las 19 variables meteorológicas obtenidas de WorlClim2 (Fick & Hijmans, 2017) para cada una de las 13 parcelas. Lo anterior para poder realizar una regresión entre las variables indicadoras de diversidad con todas las variables meteorológicas. El procesamiento estadístico de dicha matriz se realizó con el programa R Project (R Core Team, 2019), en dónde se iban ejecutando modelos lineales, que permitían descartar las variables no significativas y las de menor peso, para la variable respuesta que en este caso era diversidad.

4. Resultados

4.1 Generalidades taxonómicas para los diferentes pisos altitudinales

4.1.1 Estimadores de riqueza no paramétricos y efectividad de muestreo. Para el cálculo de posibles especies a encontrar según el área muestreada se usaron dos estimadores no paramétricos. En el caso de Chao 1 las curvas de relación especies observadas y especies estimadas se mantienen casi a la par, y para el caso de Jackknife supera lo estimado con lo encontrado. En síntesis, aunque la curva de acumulación de especies no llega a estabilizarse, el resultado del muestreo según el área y los indicadores fue efectivo (*Figura 5*).

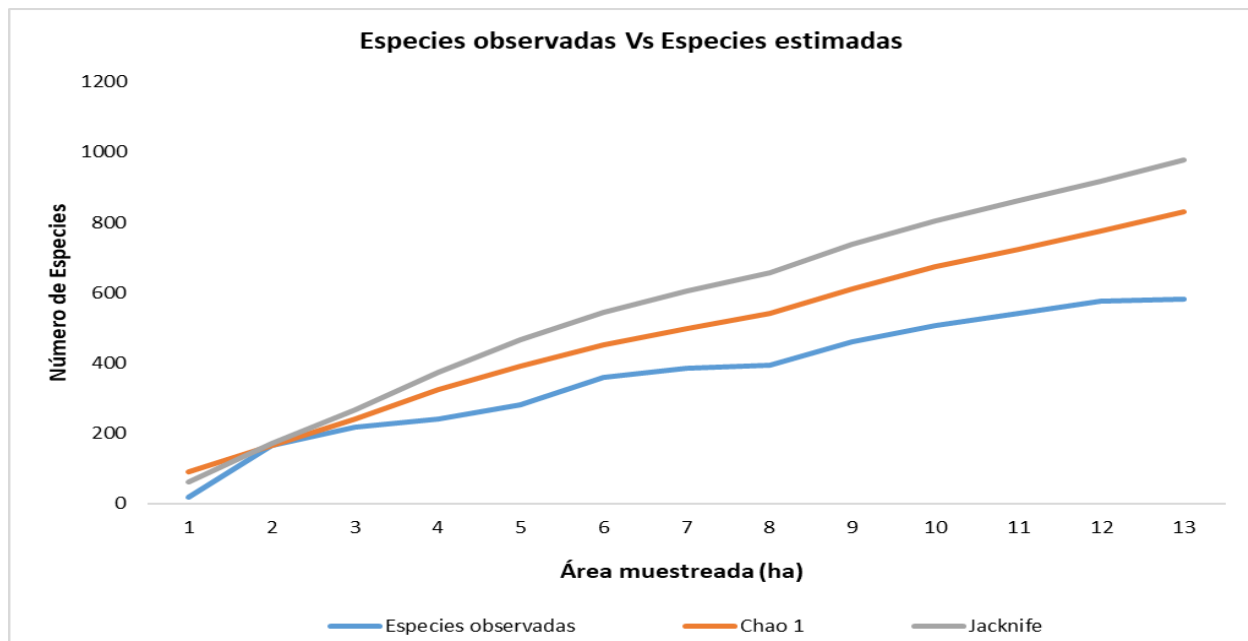


Figura 5. Especies observadas Vs especies estimadas con modelos no paramétricos Jackknife y Chao 1

4.1.2 Cantidad de familias, géneros y especies por parcela. Después de realizado el recuento de la cantidad de familias, géneros y especies para cada una de las parcelas permanentes de investigación, se tabularon, registraron y graficaron los resultados (Figura 6). En el conteo de los taxones evaluados, el mayor número de familias encontradas fue 43 en la parcela el Rasgón, mientras que la parcela Cimitarra presento el mayor número de géneros (92) y especies (151), parcela que está ubicada a una altitud de 125 msnm en la zona de vida catalogada como bh-T, mientras que el menor número de familias registrado fue 3, géneros y especies 4, datos registrados en la parcela Vetás Pa ubicada a una altitud de 3222, en la zona de vida páramo.

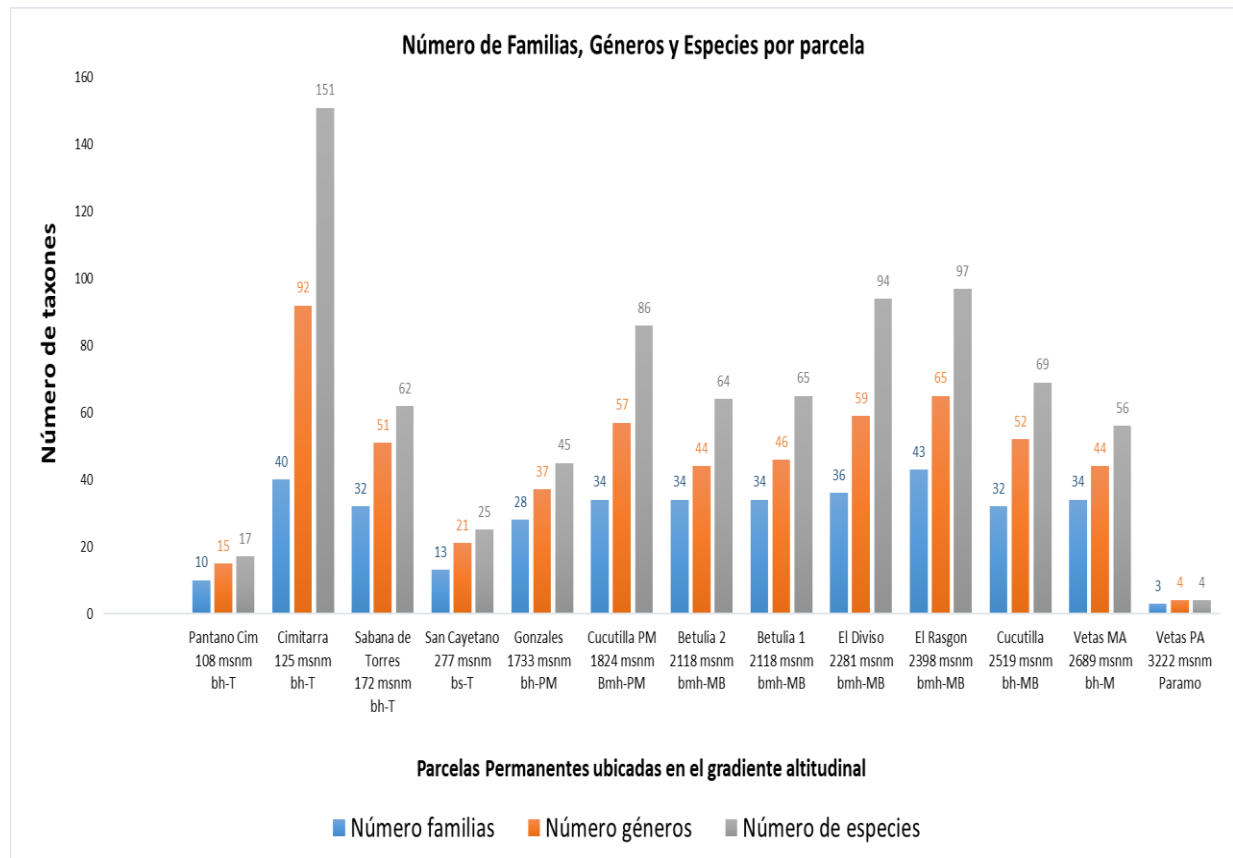


Figura 6. Número de familias, géneros y especies por parcela

4.1.3 Número de individuos por parcela. El número de individuos arbóreos registrados en cada una de las parcelas permanentes se expone gráficamente en la *Figura 7*, la parcela que mayor cantidad de individuos presentó (936), fue la parcela denominada Betulia 1, la cual está ubicada a 2118 msnm, dentro de la zona de vida bmh-MB. El menor número de individuos que se registró fue de 173, en la parcela Vetas PA, la cual está ubicada en la zona de vida páramo.

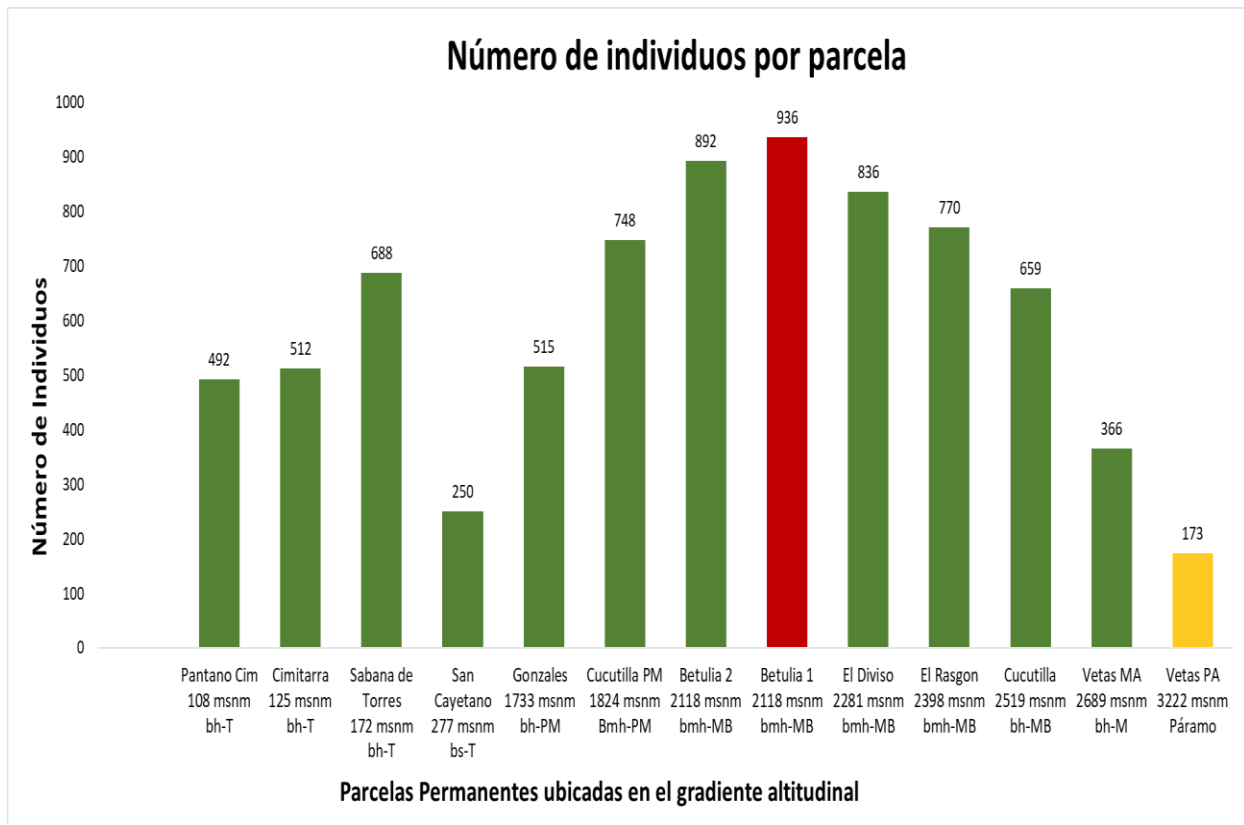


Figura 7. Número de individuos por parcela

4.1.4 Las familias con mayor cantidad de géneros y especies por parcela. En total se reportaron para toda el área muestreada 582 especies de plantas vasculares distribuidas en 242 géneros y 87 familias. Las familias que mayor cantidad de géneros presentaron fueron Fabaceae, Rubiaceae, Lauraceae y Melastomataceae (*Tabla 2.*). Por otro lado, las familias con mayor número de especies fueron Lauraceae, Fabaceae y Melastomataceae (*Tabla 3.*). En la *Tabla 2.*, se observan las tres familias con mayor número de géneros por parcela.

Tabla 2.

Las tres familias con mayor número de géneros por parcela

Parcela	Familia	Número de géneros
Pantano Cim	Fabaceae	4
108 msnm	Malvaceae	3
bh-T	Annonaceae	1
Cimitarra	Fabaceae	13
125 msnm	Rubiaceae	7
bh-T	Malvaceae	6
Sabana de Torres	Fabaceae	5
172 msnm	Annonaceae	3
bh-T	Lauraceae	3
San Cayetano	Bignoniaceae	4
277 msnm	Fabaceae	4
bs-T	Boraginaceae	2
Gonzales	Lauraceae	4
1733 msnm	Clusiaceae	3
bh-PM	Melastomataceae	2
Cucutilla PM	Lauraceae	9
1824 msnm	Rubiaceae	6
bmh-PM	Euphorbiaceae	3
	Lauraceae	6
	Arecaceae	2

Parcela	Familia	Número de géneros
Betulia 2		
2118 msnm	Melastomateae	2
bmh-MB		
Betulia 1	Lauraceae	5
2118 msnm	Arecaceae	3
bmh-MB	Rubiaceae	3
El Diviso	Lauraceae	5
2281 msnm	Melastomataceae	5
bmh-MB	Rubiaceae	4
El Rasgon	Lauraceae	7
2398 msnm	Melastomateae	5
bmh-MB	Rubiaceae	4
Cucutilla	Lauraceae	5
2519 msnm	Rubiaceae	5
bh-MB	Melastomateae	4
Vetas MA	Lauraceae	3
2689 msnm	Melastomateae	3
bh-M	Meliaceae	3
Vetas PA	Asteraceae	2
3222 msnm	Indeterminada	1
Páramo	Rosaceae	1

En la Tabla 3. se observan las 3 familias con mayor número de especies por parcela.

Tabla 3.

Las tres familias con mayor número de especies por parcela

Parcela	Familia	Número de especies
Pantano Cim	Fabaceae	5
108 msnm	Malvaceae	3
bh-T	Moraceae	2
Cimitarra	Fabaceae	30
125 msnm	Malvaceae	10
bh-T	Moraceae	10
Sabana de Torres	Fabaceae	9
172 msnm	Annonaceae	4
bh-T	Euphorbiaceae	3
San Cayetano	Bignoniaceae	5
277 msnm	Fabaceae	5
bs-T	Euphorbiaceae	3
Gonzales	Lauraceae	7
1733 msnm	Clusiaceae	3
bh-PM	Euphorbiaceae	3
Cucutilla PM	Lauraceae	20
1824 msnm	Rubiaceae	9
bmh-PM	Clusiaceae	6
	Lauraceae	9

Parcela	Familia	Número de especies
Betulia 2	Melastomateae	6
2118 msnm		
bmh-MB	Symplocaceae	6
Betulia 1	Lauraceae	10
2118 msnm	Clusiaceae	4
bmh-MB	Primulaceae	4
El Diviso	Melastomataceae	14
2281 msnm	Lauraceae	8
bmh-MB	Moraceae	8
El Rasgon	Lauraceae	11
2398 msnm	Melastomateae	11
bmh-MB	Araliaceae	5
Cucutilla	Lauraceae	8
2519 msnm	Melastomateae	7
bh-MB	Rubiaceae	7
Vetas MA	Melastomateae	7
2689 msnm	Lauraceae	4
bh-M	Meliaceae	3
Vetas PA	Asteraceae	2
3222 msnm	Indeterminada	1
Páramo	Rosaceae	1

4.1.5 Especies con algún grado de amenaza u endemismo. En el *Apéndice A*, se pueden observar los resultados en relación a las especies endémicas o que figuran en algún estado de amenaza, después de realizada la consulta en la base de datos de la UICN (IUCN, 2019), y en el Catálogo de Líquenes y Plantas Vasculares de Colombia (Rodrigo Bernal, Gradstein, & Celis, 2014). Para toda la base de datos se registró un total de 92 especies, dentro de estas hay nueve especies cuyo origen figura como nativa y cultivada, de estas sólo dos de ellas, *Quercus humboldtii* y *Tabebuia chrysantha* se encuentran inmersas en alguna categoría de amenaza según la UICN. De las 92 especies registradas en el *Apéndice A*, hay 61 especies que figuran en alguna categoría de amenaza, en las que destacan el *Aniba perutilis* y el *Magnolia chimantensis* que se encuentran en Peligro Crítico de Extinción. Además, se encontró registro de 29 especies endémicas, de las cuales tan solo cinco figuran en algún estado de amenaza según la UICN.

4.2 Índice de Valor de Importancia (IVI)

Luego de tabulados los datos y halladas la dominancia, frecuencia y abundancia relativa se procedió a tabular la información y calcular el IVI de cada una de las especies presentes en las parcelas.

- En la *Figura 8* se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de Pantano Cim que está ubicada a 108 msnm y que se encuentra dentro de la zona de vida de bh-T. Las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron, la palma *Euterpe oleracea* con 27,8% de representatividad dentro de toda la parcela, seguida de *Xylopia discreta* con 12,6 % y el *Inga multijuga* con 11,7 %.

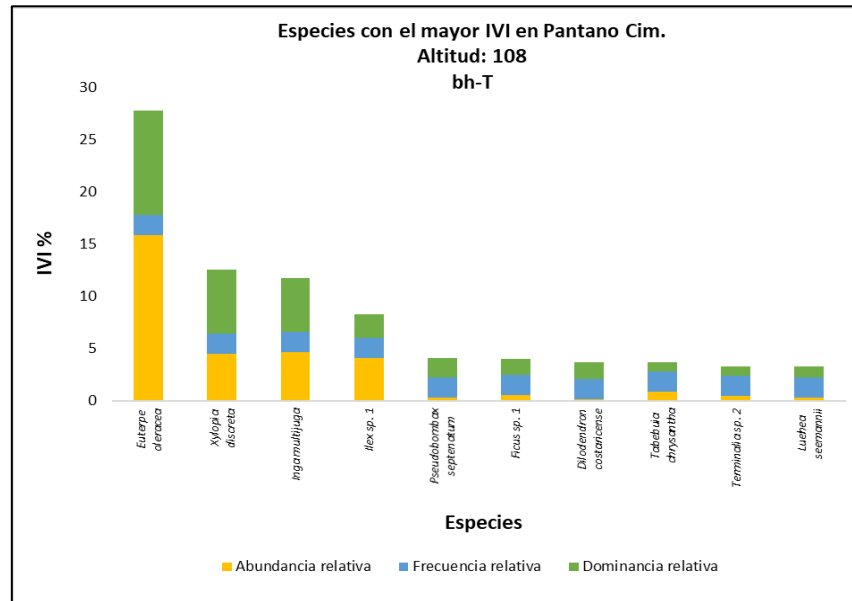


Figura 8. Especies con mayor IVI en la parcela Pantano Cim.

- En la Figura 9 se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de cimitarra que está ubicada a 125 msnm y que se encuentra dentro de la zona de vida de bh-T, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Cavanillesia platanifolia* con 5,31%, seguida de *Gustavia longifuniculata* con 3,59 % y *Helianthostylis sprucei* con 2,47 %.

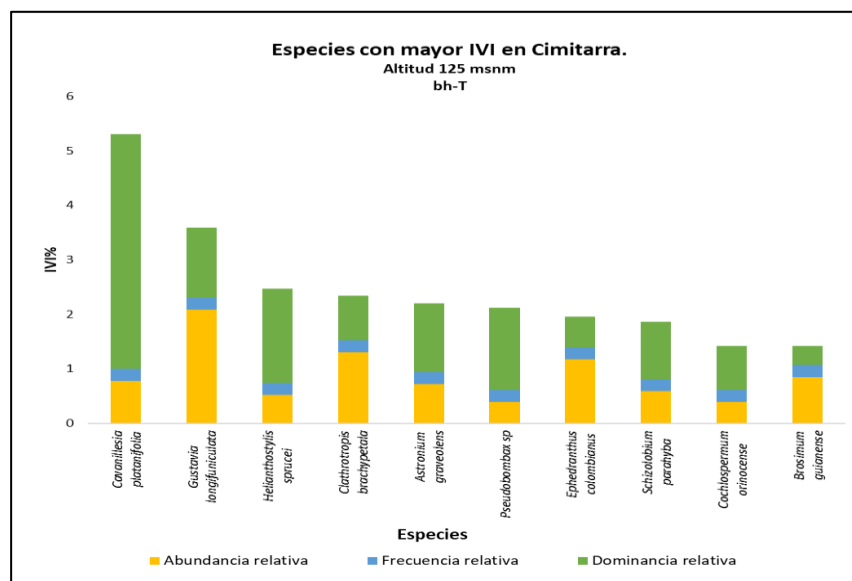


Figura 9. Especies con el mayor IVI en la parcela Cimitarra

- En la *Figura 10* se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de Sabana de Torres que está ubicada a 172 msnm y que se encuentra dentro de la zona de vida de bh-T las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Tapirira guianensis* con 22,46 %, seguida de *Xylopia aromatica* con 7,91 % y *Miconia spicellata* con 5,53 %.

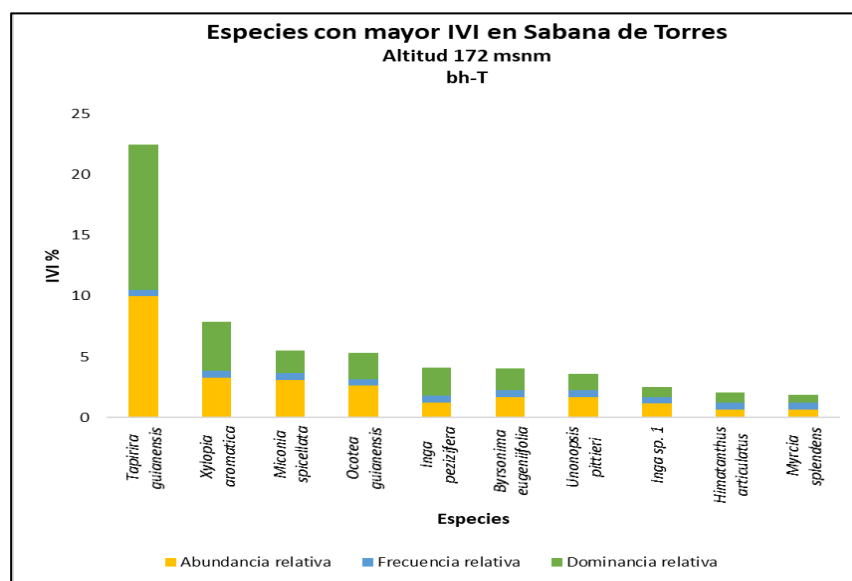


Figura 10. Especies con mayor IVI en la parcela Sabana de Torres

- En la *Figura 11* se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de San Cayetano que está ubicada a 277 msnm y que se encuentra dentro de la zona de vida de bs-T, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Guazuma ulmifolia* con 13,84 %, seguida de *Cordia panamensis* con 12,45 % y *Pterocarpus acapulcensis* con 10,29 %.

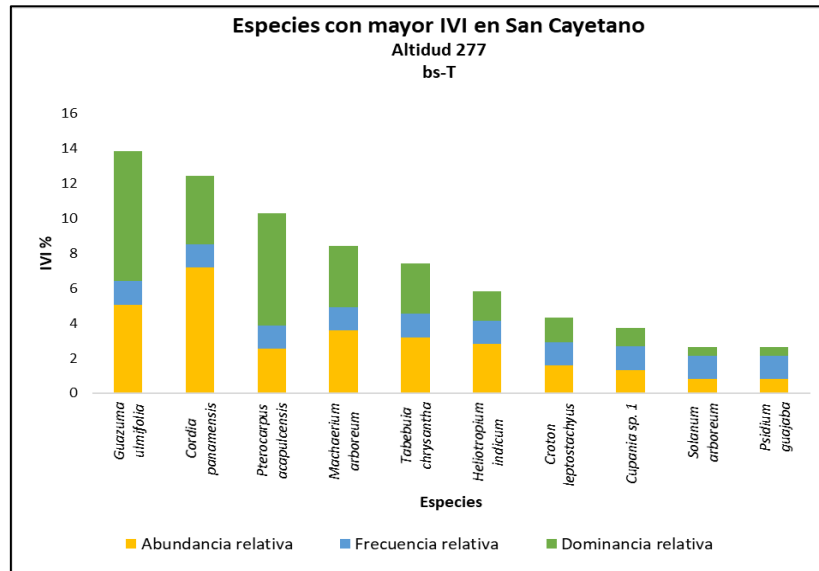


Figura 11. Especies con mayor IVI en la parcela San Cayetano

- En la Figura 12 se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de Gonzales que está ubicada a 1733 msnm y que se encuentra dentro de la zona de vida de bh-PM, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Pouteria torta* con 12,6 %, seguida de *Aniba perutilis* con 9,91 % y *Quercus humboldtii* con 9,54 %.

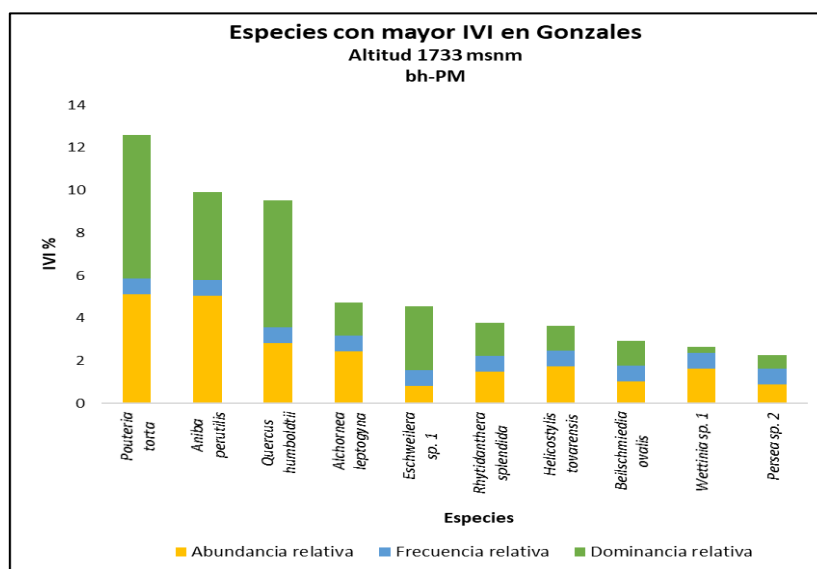


Figura 12. Especies con mayor IVI en la parcela Gonzales

- En la Figura 13 se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de Cucutilla PM que está ubicada a 1824 msnm y se encuentra dentro de la zona de vida de bnh-PM, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Quercus Humboldtii* con un 11,79 %, seguida de *Alfaroa colombiana* con 10,57 % y *Licania incana* con 4,90 %.

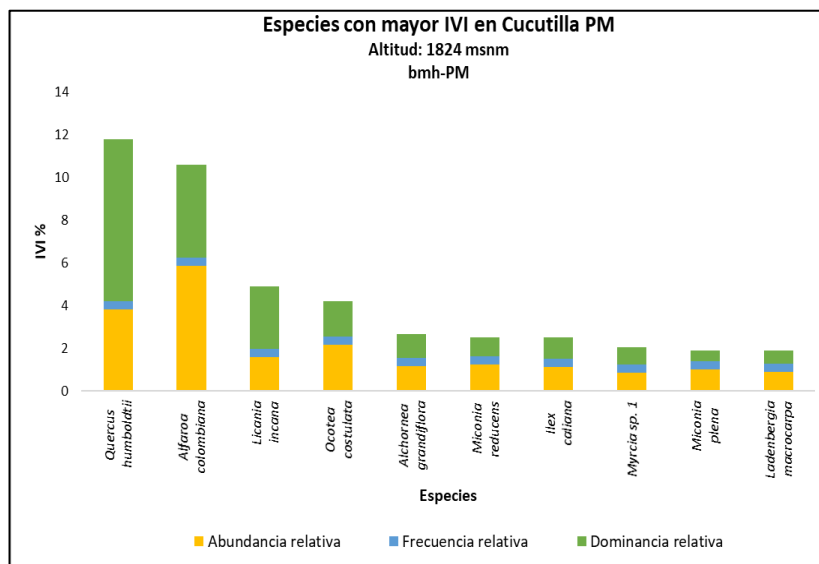


Figura 13. Especies con mayor IVI en la parcela Cucutilla PM

- En la Figura 14 se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de Betulia 2 que está ubicada a 2118 msnm y se encuentra dentro de la zona de vida de bnh-PM, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Quercus Humboldtii* con 11,20%, seguida de *Alfaroa colombiana* con 9,86% y *Protium hebetatum* con 7,07%.

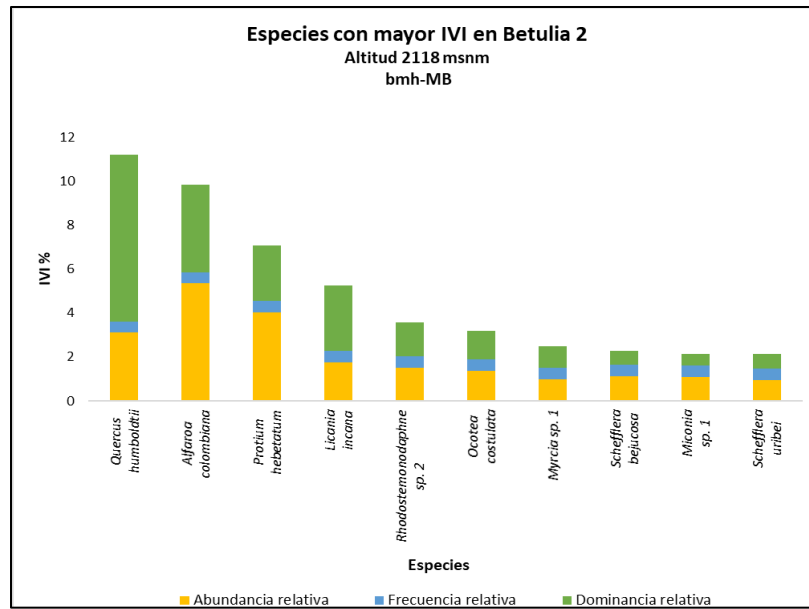


Figura 14. Especies con mayor IVI en la parcela Betulia 2

- En la Figura 15 se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de Betulia 1 que está ubicada a 2118 msnm y se encuentra dentro de la zona de vida de bmh-PM, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Alfaroa colombiana* con 13,37%, seguida del *Quercus Humboldtii* con 10,60% y *Protium hebetatum* con 5,89%.

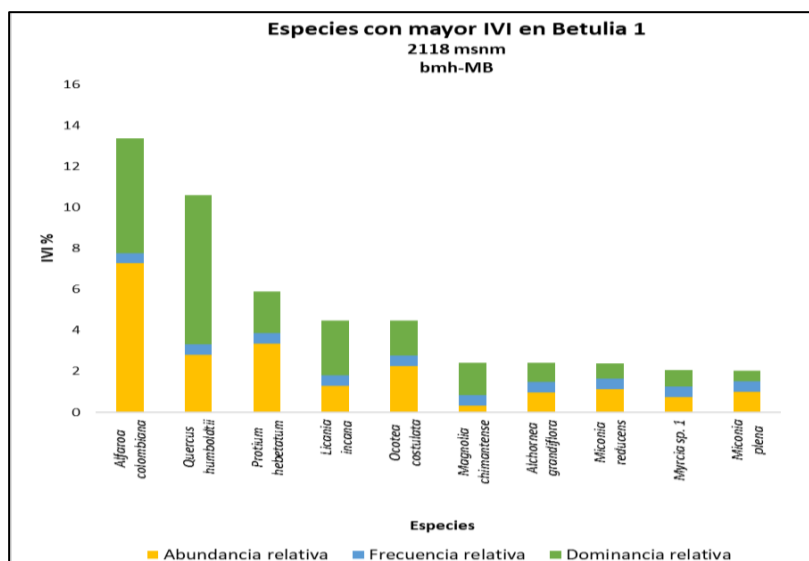


Figura 15. Especies con mayor IVI en la parcela Betulia 1

- En la *Figura 16* se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de El Diviso que está ubicada a 2281 msnm y se encuentra dentro de la zona de vida de bmh-PM, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Protium hebetatum* con 14,78%, seguida de *Cyathea delgadii* con 6,28% y *Podocarpus guatemalensis* con 4,62%.

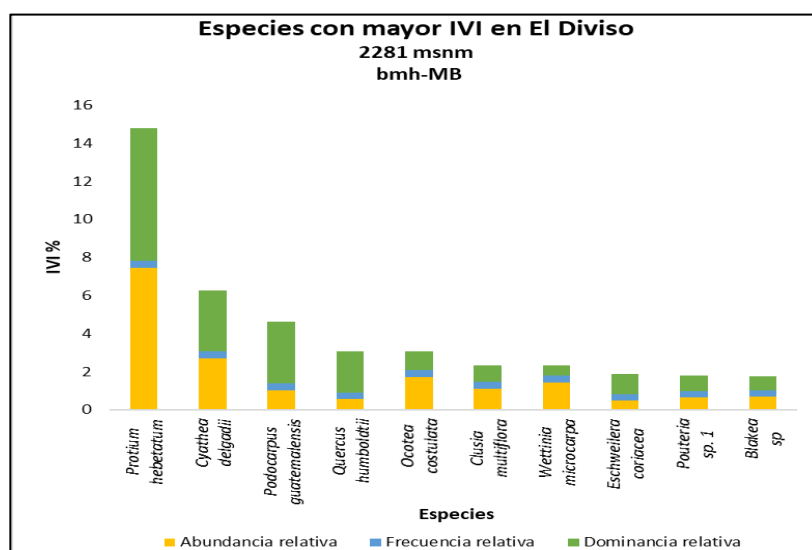


Figura 16. Especies con mayor IVI en la parcela El Diviso

- En la *Figura 17* se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela de El Rasgón que está ubicada a 2398 msnm y se encuentra dentro de la zona de vida de bmh-PM, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Beilschmiedia sp.1* con 7,12%, seguida de *Landenbergia crassifolia* con 6,45% y *Alchornea grandiflora* con 4,39%.

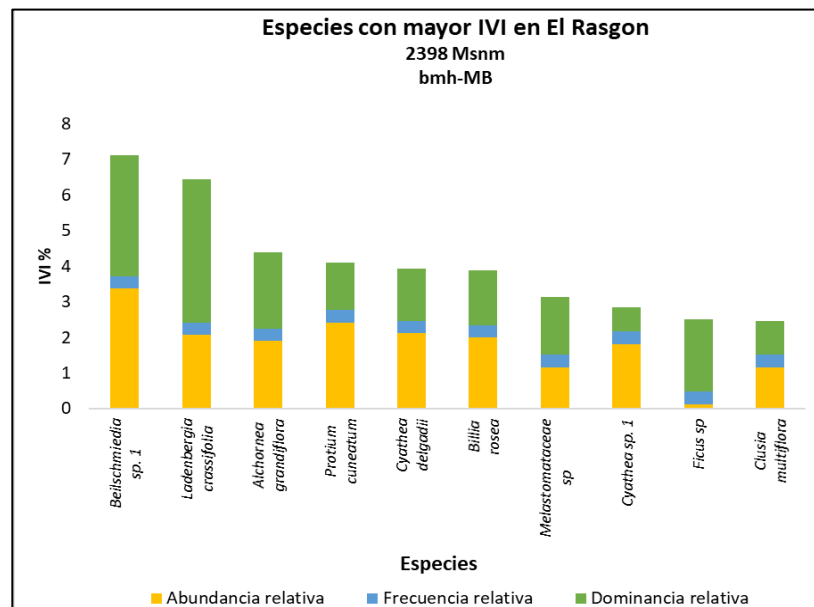


Figura 17. Especies con mayor IVI en la parcela El Rasgón

- En la Figura 18 se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela Cucutilla que está ubicada a 2519 msnm y se encuentra dentro de la zona de vida de bh-MB, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Cyathea delgadii* con 7,52%, seguida de *Meriania septuplinervis* con 6,04% y *Sapium stylare* con 3,40%.

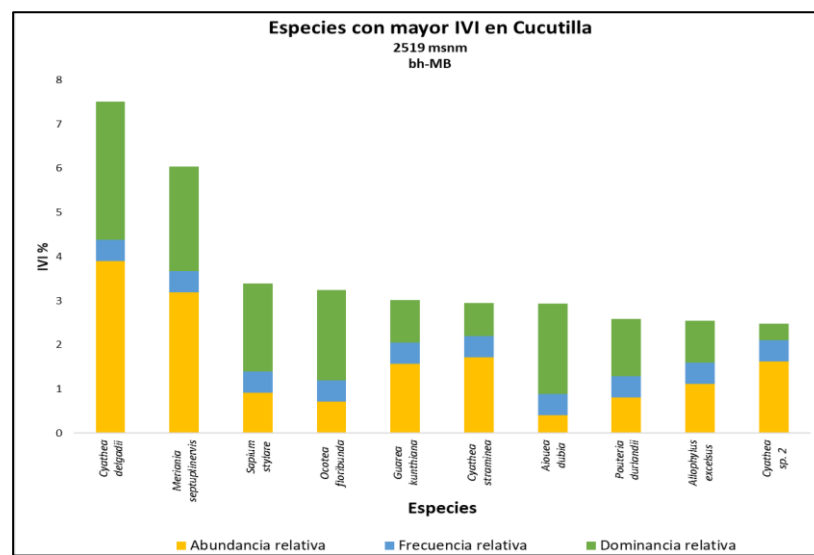


Figura 18. Especies con mayor IVI en la parcela Cucutilla

- En la *Figura 19* se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela Vetás MA que está ubicada a 2689 msnm y se encuentra dentro de la zona de vida de bh-M, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Quercus humboldtii* con 35,83%, seguida de una especie *Indeterminada* con 5,92% y *Freziera arbutifolia* con 4,65%.

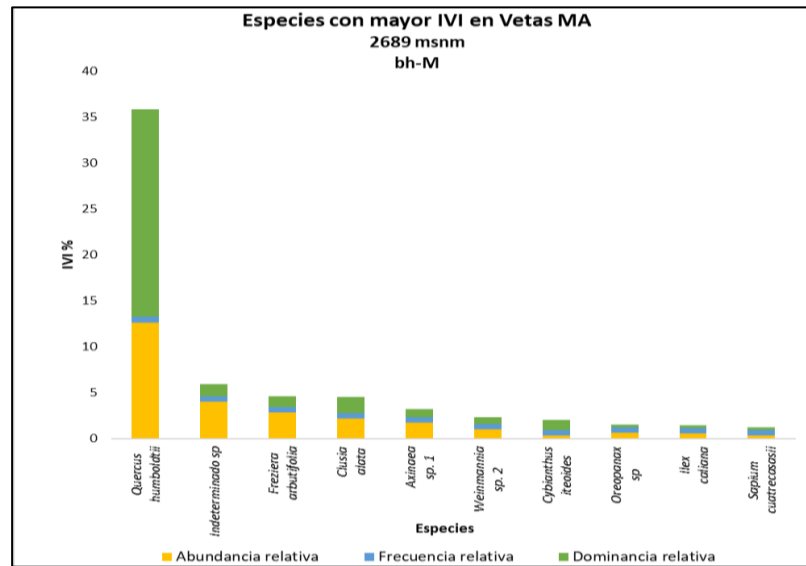


Figura 19. Especies con mayor IVI en la parcela Vetás MA

- En la *Figura 20* se encuentran las diez especies con mayor IVI de la parcela Vetás PA que está ubicada a 3222 msnm y se encuentra dentro de la zona de vida de páramo, las especies que presentaron el mayor peso ecológico fueron *Espeletia robertii* con 57,14%, seguida de la *Indeterminada sp. 1* con 17,71% y *Pentacalia ledifolia* con 15,95%.

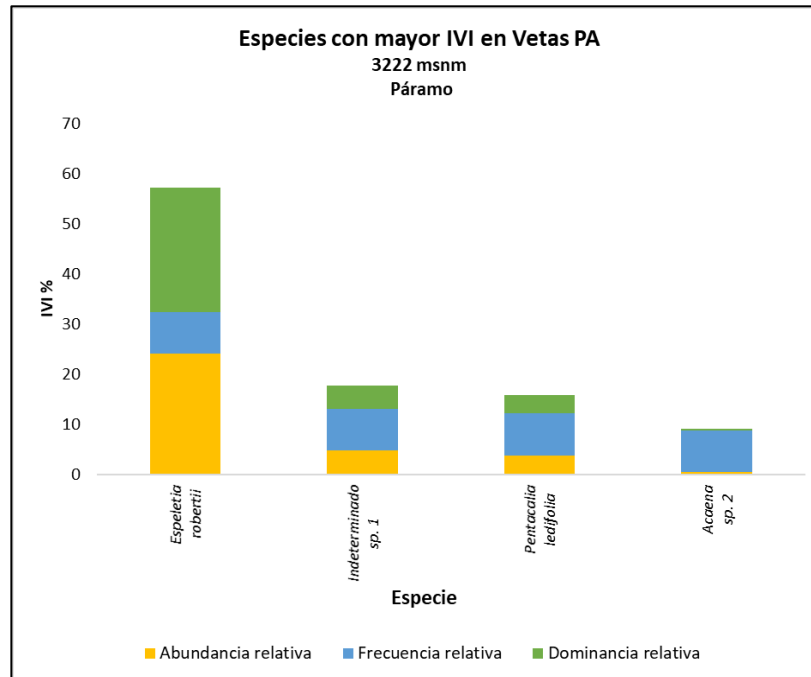


Figura 20. Especies con mayor IVI en la parcela Vetás PA

4.3 Diversidad Alfa

4.3.1 Índice de diversidad de Margalef. Los resultados obtenidos se encuentran registrados en la Tabla 4., según este índice de las parcelas evaluadas la unidad de medición más altamente diversa es Cimitarra con un indicador de 24,21, muy por encima de la siguiente más diversa, El Rasgón con 14,44. En general casi todas las parcelas tienen una diversidad alta o muy alta, a excepción de la parcela de Pantano Cimitarra que se considera como de diversidad media al presentar un indicador de 2,58 y la parcela de Vetás PA que se encuentra dentro del rango de baja diversidad al expresar un índice de 0,58, dato que se acerca mucho a lo que se considera como de muy baja diversidad.

Tabla 4.

Índice de diversidad de Margalef para las parcelas

Parcela	Altitud msnm	Zona de vida	Índice de Margalef
Pantano Cimitarra	108	bh-T	2,58
Cimitarra	125	bh-T	24,21
Sabana de torres	172	bh-T	9,34
San Cayetano	277	bs-T	4,53
Gonzales	1733	bh-PM	7,05
Cucutilla PM	1824	bmh-PM	12,84
Betulia 2	2118	bmh-MB	9,27
Betulia 1	2118	bmh-MB	9,36
El Diviso	2281	bmh-MB	13,82
El Rasgón	2398	bmh-MB	14,44
Cucutilla	2519	bh-MB	10,48
Vetas MA	2689	bh-M	9,32
Vetas PA	3222	Páramo	0,58

4.3.2 Índice de diversidad de Simpson. Los resultados de este índice se pueden observar en la *Figura 21*, todas las parcelas con un índice superior a 0,9 se consideran según este indicador como de muy alta diversidad o muy baja dominancia. La parcela Vetas MA que presenta un valor de 0,82 se considera como de alta diversidad o baja dominancia, la parcela Pantano Cimitarra al generar un valor de 0,72 se denota como de muy baja diversidad o alta dominancia, y la parcela Vetas PA se encuentra dentro del rango más bajo del índice de Simpson es decir es una parcela con muy baja diversidad o muy alta dominancia.

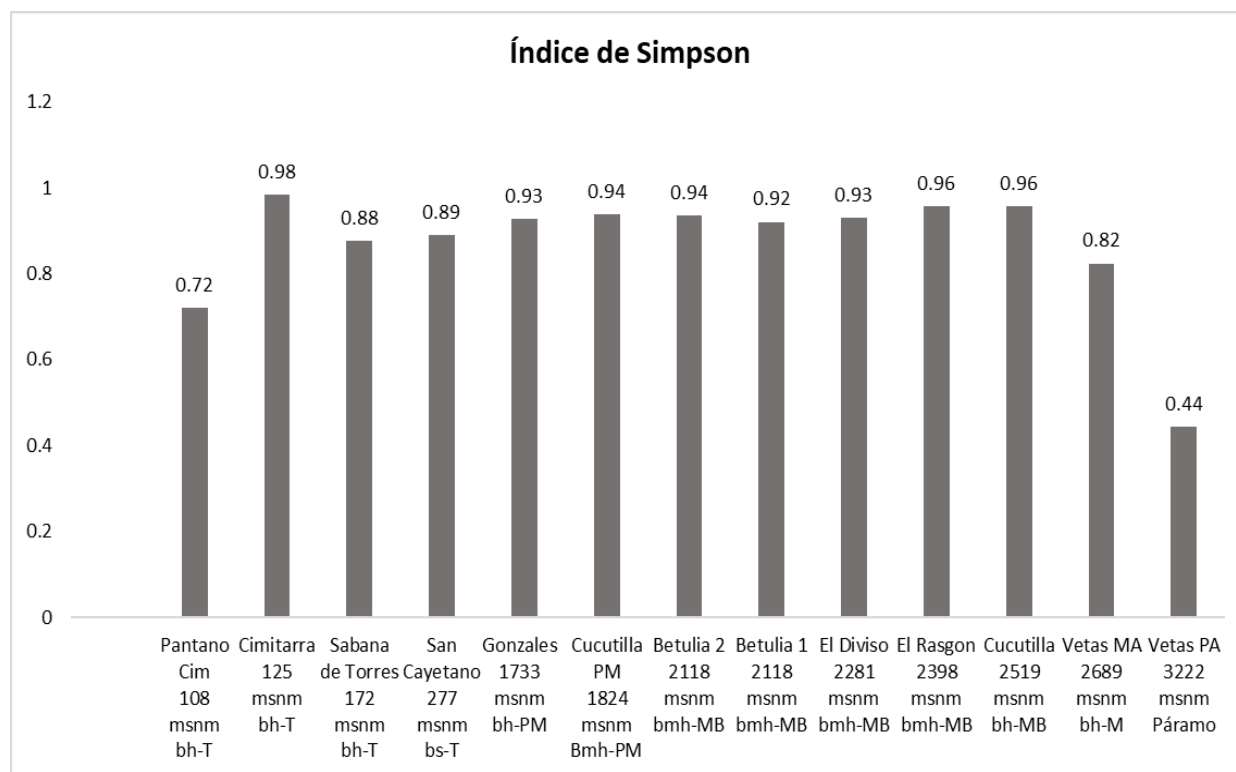


Figura 21. Índice de diversidad Simpson para las parcelas en estudio

4.3.3 Índice de diversidad “Shannon-Wiener”. Los resultados de este índice se pueden observar en la *Figura 22*. Según este indicador la parcela más altamente diversa es la de Cimitarra al presentar un valor nominal de 4,58, seguida de la parcela El Rasgón con un indicador de 3,67 lo que indica que es altamente diversa, los demás valores que superan tres son considerados también como de alta diversidad. Las parcelas de Sabana de Torres, San Cayetano y Vetas MA se encuentran dentro del rango de diversidad media, y las parcelas de Pantano Cim y Vetas PA son considerados como de diversidad baja y muy baja diversidad, respectivamente.

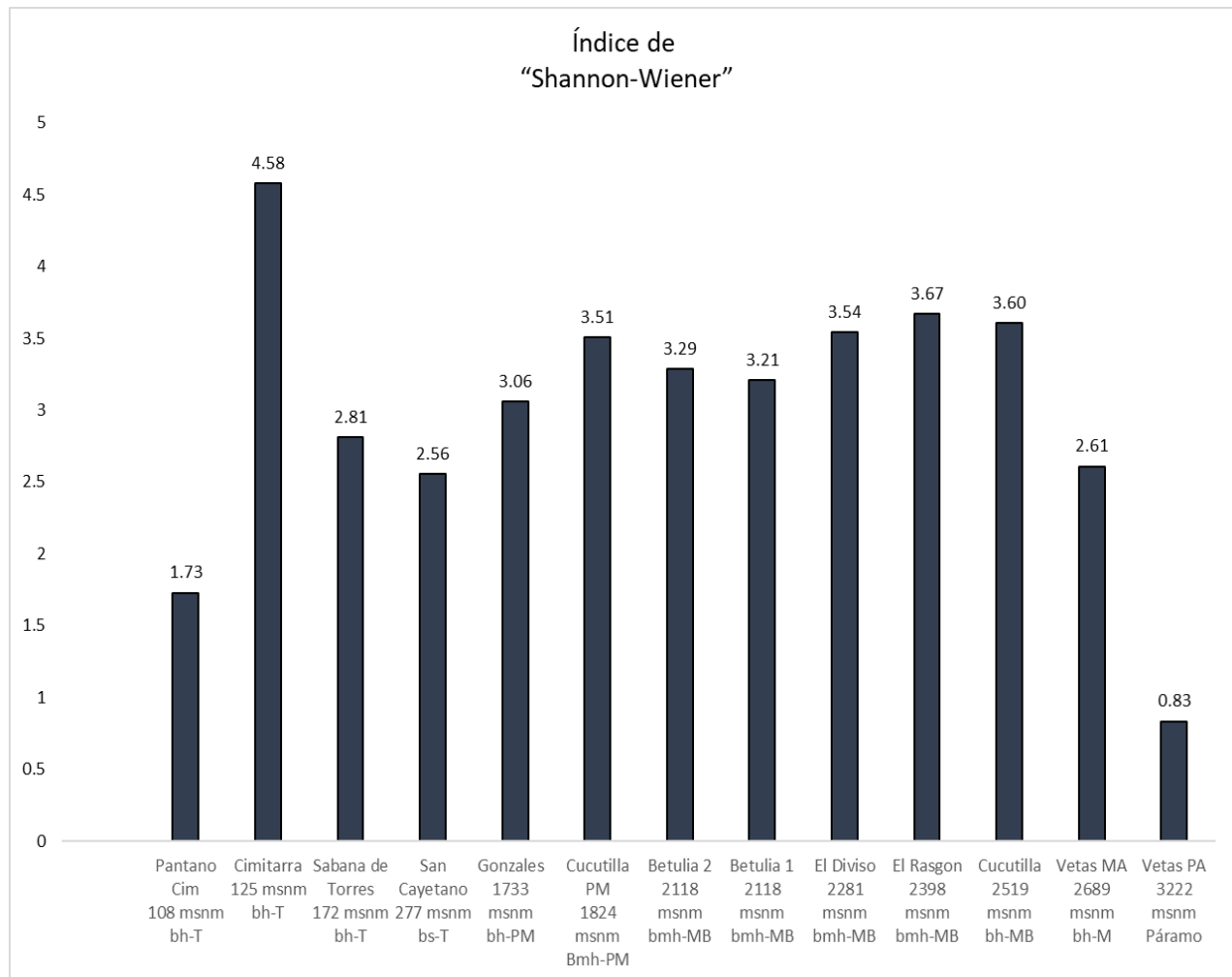


Figura 22. Índice de diversidad “Shannon-Wiener” para las parcelas en estudio

4.3.4 Índice de diversidad Berger Parker

Los resultados de este índice se encuentran registrados en la *Tabla 5*. Las parcelas con índice más bajo fueron Cimitarra, El Rasgón y Cucutilla con 0,1 ubicándose así dentro del rango de las más diversas y con muy baja dominancia, y las que presentaron los índices más altos fueron Pantano Cim con 0,5, Vetass MA con 0,4 y Vetass PA con 0,7 valores que al interpretarse explican que estas parcelas son las menos diversas presentando un alto grado de dominancia de una o algunas cuantas especies.

Tabla 5.

Índice de diversidad Berger Parker para las parcelas en estudio

Parcela	Altitud msnm	Zona de vida	Índice Berger Parker
Pantano Cim	108	bh-T	0,5
Cimitarra	125	bh-T	0,1
Sabana de Torres	172	bh-T	0,3
San Cayetano	277	bs-T	0,2
Gonzales	1733	bh-PM	0,2
Cucutilla PM	1824	bmh-PM	0,2
Betulia 2	2118	bmh-MB	0,2
Betulia 1	2118	bmh-MB	0,2
El Diviso	2281	bmh-MB	0,2
El Rasgón	2398	bmh-MB	0,1
Cucutilla	2519	bh-MB	0,1
Vetas MA	2689	bh-M	0,4
Vetas PA	3222	Páramo	0,7

4.3.5 Cociente de mezcla. Los resultados de este índice pueden observarse en la

Tabla 6. La parcela con más alto cociente de mezcla fue la parcela de Cimitarra con 151 especies en 512 individuos, y la parcela con menor Cociente de Mezcla fue Vetas PA registrándose 4 especies en 173 individuos.

Tabla 6.

Cociente de Mezcla para las parcelas en estudio

Parcela	Altitud msnm	Zona de vida	Cociente de Mezcla	Característica
Pantano Cim	108	bh-T	0.03	Muy poco mezclado; Bosque muy homogéneo
Cimitarra	125	bh-T	0.29	Moderadamente mezclado; Bosque medianamente heterogéneo
Sabana de Torres	172	bh-T	0.09	Poco mezclado; Bosque homogéneo
San Cayetano	277	bs-T	0.10	Poco mezclado; Bosque homogéneo
Gonzales	1733	bh-PM	0.09	Poco mezclado; Bosque homogéneo
Cucutilla PM	1824	bmh-PM	0.11	Moderadamente mezclado; Bosque poco heterogéneo
Betulia 2	2118	bmh-MB	0.07	Poco mezclado; Bosque homogéneo
Betulia 1	2118	bmh-MB	0.07	Poco mezclado; Bosque homogéneo
El Diviso	2281	bmh-MB	0.11	Moderadamente mezclado; Bosque poco heterogéneo
El Rasgón	2398	bmh-MB	0.13	Moderadamente mezclado; Bosque poco heterogéneo
Cucutilla	2519	bh-MB	0.10	Poco mezclado; Bosque homogéneo
Vetas MA	2689	bh-M	0.15	Moderadamente mezclado; Bosque poco heterogéneo
Vetas PA	3222	Páramo	0.02	Muy poco mezclado; Bosque muy homogéneo

4.4 Diversidad Beta

4.4.1 Coeficiente de similitud de Jaccard. Los resultados de la diversidad Beta entre las parcelas se pueden observar en la Figura 23. Según este coeficiente las parcelas más alejadas en cuanto a diversidad son Sabana de Torres y Vetas PA pues son los clados más distanciados. Las parcelas más parecidas Betulia 1 y Betulia 2 que se relacionan a su vez de cierta forma con la parcela Cucutilla PM, las otras que tienen una cercanía en cuanto a composición florística son El Rasgón y El Diviso ubicadas en el municipio de Piedecuesta y Floridablanca, respectivamente.

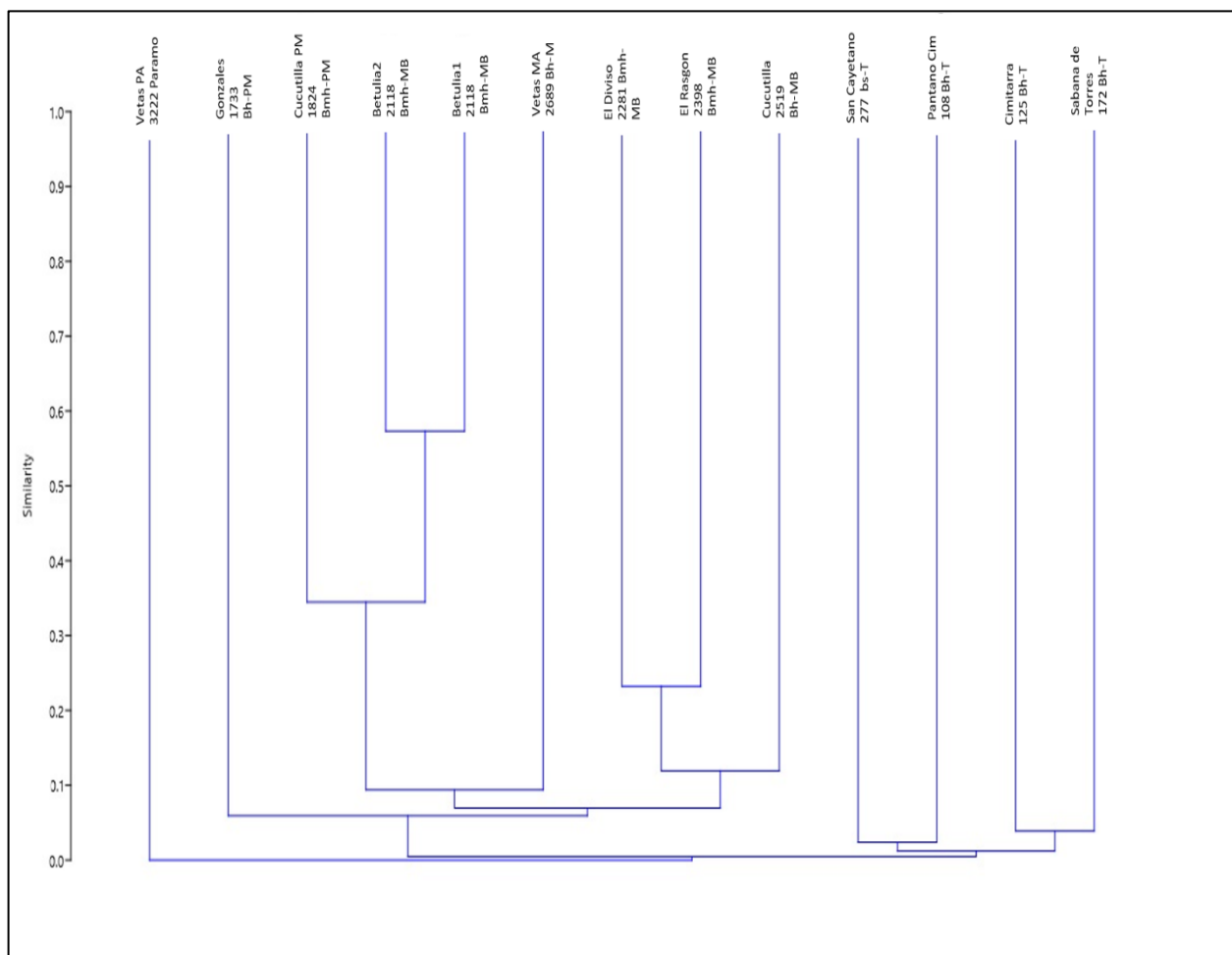


Figura 23. Cladograma del coeficiente de similitud de Jaccard

4.4.2 Coeficiente de similitud de Sørensen. Los resultados del coeficiente de similitud de Sørensen con respecto a la diversidad Beta entre las parcelas se pueden observar en la *Figura 24*. Según este coeficiente las parcelas más alejadas en cuanto a diversidad son Sabana de Torres y Vetas PA porque son los clados más distanciados, y las más parecidas son las parcelas Betulia 1 y Betulia 2 que se relacionan de forma bastante cercana a su vez con la parcela Cucutilla PM. Las otras parcelas que tienen una cercanía en cuanto a composición florística son El Rasgón y El Diviso ubicadas en el municipio de Piedecuesta y Floridablanca, respectivamente. Vetas MA logra tener una similitud media con Cucutilla PM y Betulia 1 y Betulia 2.

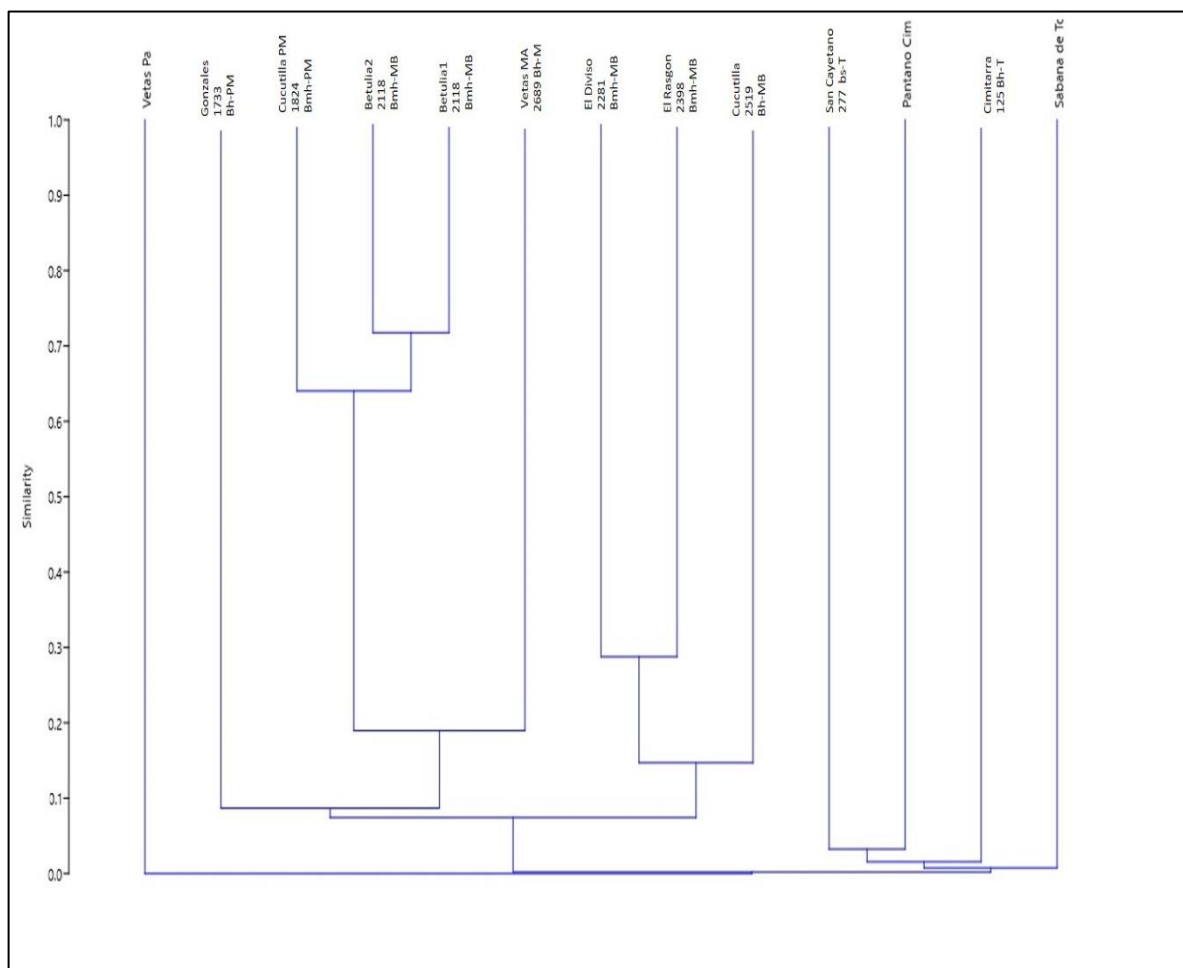


Figura 24. Cladograma del coeficiente de similitud de Sørensen

4.4.3 Índice de Morisita-Horn. Los resultados del índice de Morisita-Horn con respecto a la diversidad Beta entre las parcelas se pueden observar en la *Figura 25*. Este índice reafirma que las parcelas más alejadas en lo que a diversidad se refiere son Vetás MA y Sabana de Torres, y que las más cercanas son las dos parcelas de Betulia en conjunto con la parcela de Cucutilla PM, que a su vez está relacionada con la parcela El Diviso. Las demás parcelas tienen una muy baja o nula similitud entre ellas.

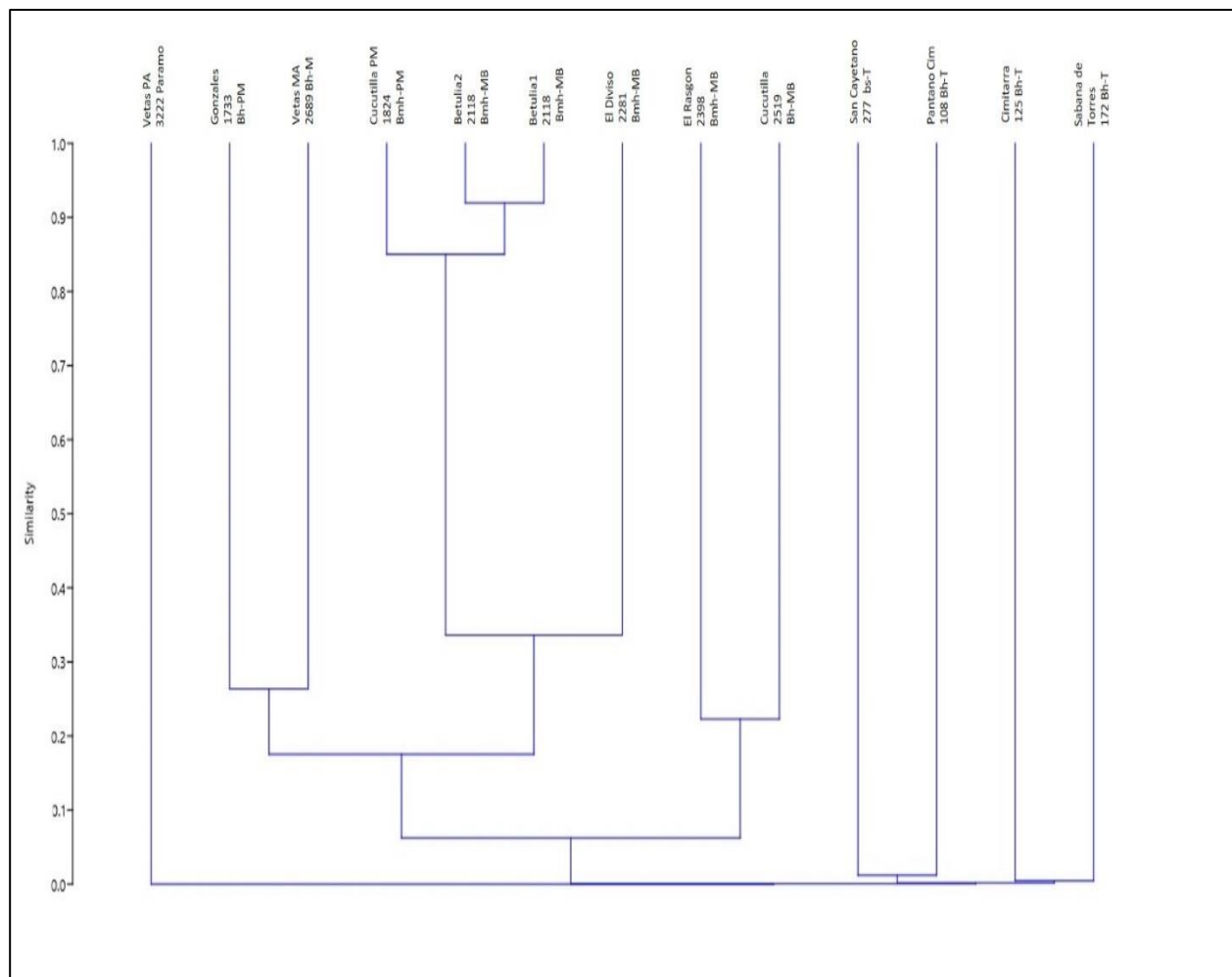


Figura 25. Índice de Morisita-Horn

4.5 Confrontación del gradiente altitudinal con la diversidad Beta

4.5.1 Test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y la altitud. Al realizar el test de Mantel, entre la distancia Bry-curtis y la altitud (R Core Team, 2019), se obtuvo un $p < 0.05$ y un Mantel statistics r de 0.4533 (*Figura 26*). Esto determina que la altitud efectivamente tiene efecto sobre el recambio de la diversidad a nivel de especies.

```
Mantel statistic based on Pearson's product-moment correlation

Call:
mantel(xdis = alt, ydis = bry)

Mantel statistic r: 0.4533
Significance: 0.001

Upper quantiles of permutations (null model):
90%  95%  97.5%  99%
0.191 0.229 0.278 0.313

Permutation: free
Number of permutations: 999
```

Figura 26. Test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y la altitud.

4.5.2 Test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y la distancia geográfica. Al realizar el test de Mantel, entre la distancia Bry-curtis y la distancia geográfica (R Core Team, 2019), se obtuvo un $p < 0.05$ y un Mantel statistics r de 0.3056 (*Figura 27*). Esto determina que la distancia geográfica también presenta un efecto sobre el recambio de la diversidad a nivel de especies.

```

Mantel statistic based on Pearson's product-moment correlation

Call:
mantel(xdis = geod, ydis = gerd)

Mantel statistic r: 0.3056

Significance: 0.02

Upper quantiles of permutations (null model):
90% 95% 97.5% 99%
0.216 0.255 0.298 0.329

Permutation: free

Number of permutations: 999

```

Figura 27. Test de Mantel entre la distancia Bry-Curtis y la distancia geográfica

4.6 Indicadores bioclimáticos para las 13 parcelas de investigación permanente

Las variables extraídas de WorlClim2 (Fick & Hijmans, 2017) se organizaron en dos tablas, las variables bioclimáticas desde el Bio1 hasta Bio19 para cada una de las parcelas permanentes, y se encuentran registradas en el *Apéndice B*.

4.7 Selección de las variables bioclimáticas que influyen en la variación de la diversidad

4.7.1 Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso hacia adelante para la variable de diversidad: familias. Luego de realizada la eliminación de las variables que no aportaban un nivel explicativo a la variable respuesta, en los primeros pasos se descartaron todas las variables bioclimáticas que se tenían del factor precipitación, es decir, que fueron sacadas las variables del Bio 12 al Bio 19. Además, fue eliminada también la variable Bio 7 del factor temperatura.

Entonces, las variables que fueron seleccionadas como explicativas para el cambio en la diversidad a nivel de familia se pueden observar en la *Figura 28*.

```

Coefficients:
      Estimate Std. Error    t value Pr(>|t|)
(Intercept)  4.555e+03  1.539e-12  2.959e+15 < 2e-16 ***
Altitud      -4.779e-02  1.523e-16 -3.139e+14  2.03e-15 ***
bio_1        -1.255e+00  9.495e-15 -1.322e+14  4.81e-15 ***
bio_2         4.413e+01  1.229e-14  3.592e+15 < 2e-16 ***
bio_3        -5.393e+01  1.640e-14 -3.288e+15 < 2e-16 ***
bio_4        -6.964e-02  3.318e-16 -2.099e+14  3.03e-15 ***
bio_5        -3.725e+01  9.946e-15 -3.745e+15 < 2e-16 ***
bio_6         3.453e+01  1.016e-14  3.399e+15 < 2e-16 ***
bio_8        -3.883e+00  2.605e-15 -1.490e+15  4.27e-16 ***
bio_9        -4.472e+00  1.933e-15 -2.314e+15  2.75e-16 ***
bio_10        1.112e+01  9.380e-15  1.186e+15  5.37e-16 ***
bio_11        6.623e-01  1.558e-14  4.250e+13  1.50e-14 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 6.661e-15 on 1 degrees of freedom
Multiple R-squared:  1,    Adjusted R-squared:  1
F-statistic: 3.64e+30 on 11 and 1 DF,  p-value: 4.088e-16

```

Figura 28. Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso, para la variable de diversidad: familias.

4.7.2 Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso hacia adelante para la variable de diversidad: géneros. Luego de realizada la eliminación de las variables que no aportaban un nivel explicativo a la variable respuesta, en los primeros pasos se descartaron todas las variables bioclimáticas que se tenían del factor precipitación, es decir, que fueron sacadas las variables del Bio 12 al Bio 19. Además, fueron eliminadas también las variables Bio 7, Bio 10 y Bio 11 del factor temperatura; Después fue eliminada la altitud, y para hacer un modelo más parsimonioso, se eliminaron al final las variables Bio 8 y Bio 9. Entonces, las variables que fueron seleccionadas como explicativas para el cambio en la diversidad a nivel de géneros se pueden observar en la *Figura 29*.

```

Call:
lm(formula = generos ~ ., data = Dat)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-19.271  -9.187  -3.887   4.433  22.706

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6975.88    2325.19   3.000  0.0171 *
bio_2         68.07     22.43   3.035  0.0162 *
bio_3        -83.22     28.17  -2.954  0.0183 *
bio_5        -56.99     18.54  -3.073  0.0153 *
bio_6         57.11     18.61   3.069  0.0154 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.86 on 8 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6784,    Adjusted R-squared:  0.5176
F-statistic: 4.219 on 4 and 8 DF,  p-value: 0.03972

```

Figura 29. Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso, para la variable de diversidad: géneros.

4.7.3 Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso hacia adelante para la variable de diversidad: especies. Luego de realizada la eliminación de las variables que no aportaban un nivel explicativo a la variable respuesta, en los primeros pasos se descartaron todas las variables bioclimáticas que se tenían del factor precipitación, es decir, que fueron sacadas las variables del Bio 12 al Bio 19. Además, fueron eliminadas también las variables Bio 7, Bio 10 y Bio 11 del factor temperatura; Después fue eliminada la altitud, y para hacer un modelo más parsimonioso, se eliminaron al final las variables Bio 8 y Bio 9. Entonces, las variables que fueron seleccionadas como explicativas para el cambio en la diversidad a nivel de especies se pueden observar en la *Figura 30*.

```

Call:
lm(formula = No_morfoespecies ~ ., data = Datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-29.288 -12.221  -3.461   5.121  40.747

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 11860.84    3998.06   2.967  0.0180 *
bio_2         113.35     38.57   2.939  0.0187 *
bio_3        -140.68     48.44  -2.904  0.0198 *
bio_5         -95.75     31.89  -3.003  0.0170 *
bio_6          96.05     32.00   3.002  0.0170 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 27.27 on 8 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6662,    Adjusted R-squared:  0.4994
F-statistic: 3.992 on 4 and 8 DF,  p-value: 0.04548

```

Figura 30. Regresión lineal múltiple con eliminación paso a paso, para la variable de diversidad: especies.

5. Discusión

5.1 Diversidad taxonómica, cantidad de individuos por parcela y endemismos

Contrario a lo reportado por (Gentry, 1995), sobre la disminución de la diversidad a medida que se asciende en altura, en la mayoría de los pisos altitudinales en estudio a excepción del páramo se presentan valores significativos de riqueza y diversidad, esto puede darse como respuesta a las restricciones fisiográficas asociadas con la topografía de las montañas (McCain, 2004), las condiciones particulares del suelo y clima, por el estado de conservación en el que se encuentran inmersos varios de los sitios, o incluso al alto grado de dificultad para que la intervención antrópica

alcance las masas boscosas en estudio (alta pendiente, vías en mal estado, conflicto armado, entre otras).

Con respecto a las condiciones particulares del suelo, por ejemplo, la parcela de Pantano Cim, a pesar de estar ubicada en tierras bajas y de encontrarse dentro de la zona de vida bh-T (históricamente caracterizada por poseer una alta diversidad florística -Franco, Betancur, & L, 1997; Mosquera, Robledo, & Angélica, 2007; Rojas, Estevez, & Nestor, 2008), presenta valores atípicos que la clasifican como zona de diversidad media en lo que refiere a número de familias, géneros y especies de árboles. Esto debido a que es un bosque mono dominado por la especie de palma *Euterpe oleracea*, ya que este bosque presenta condiciones edáficas particulares, en las que el suelo sufre procesos de encharcamiento e inundación. Por este motivo, *Euterpe oleracea* presenta un alto dominio y representa el 47,5 % del total de los individuos registrados para la parcela.

Otro caso especial es la parcela San Cayetano que está ubicada dentro de un bs-T. En este caso, fueron las condiciones climáticas, y no edáficas, las que determinaron una baja diversidad Alfa. Esto era de esperarse, debido a que bajo condiciones de sequía agreste, son pocas las especies que logran adaptarse y desarrollarse allí, lo cual genera una baja diversidad Alfa, pero una muy alta diversidad Beta, incluso entre los bosques secos tropicales de diferentes regiones (Linares & Orozco, 2009; Pizano & Garcia, 2014).

Por su parte, la parcela Cimitarra presentó la mayor diversidad Alfa (sobrepasando por mucho las demás parcelas), mientras que Vetas PA (la parcela ubicada en el páramo) presentó la menor diversidad, y un menor número de familias, géneros y especies. Allí, las condiciones para la vegetación arbórea son desfavorables (bajas temperaturas, alta radiación ultravioleta), por ello la diversidad de familias géneros y especies es muy baja (Duarte, Galeano, & Cotrina, 2014). Este

resultado genera cierta visión *a priori* de cómo algunas variables meteorológicas explican la variación en la diversidad de los pisos altitudinales (Fernández, 2018; Girardin et al., 2014).

En general, para los Andes colombianos se reportan 294 familias de plantas vasculares (Herzog, Martínez, Jørgensen, & Tiessen, 2010), este estudio reporta 87 familias (29,5%) un porcentaje representativo tomando en cuenta que el muestreo es solo de árboles que estaban por encima de 10 cm de DAP. En cuanto a géneros se estima que en los Andes colombianos hay alrededor de 2.302 de los cuales se reportan aquí 242 con 582 morfoespecies, lo que representa una 10,5% del total de géneros estimados para la zona. Las familias más ricas que se reportan en toda la región de los Andes son Melastomataceae, Rubiaceae, Piperaceae, Arecaceae, Fabaceae, Solanaceae y Euphorbiaceae (Fernández, 2018), de estas Fabaceae, Rubiaceae y Melastomataceae se encontraron como dominantes para el gradiente altitudinal estudiado, esto representa patrones a nivel local, lo que logra llenar un vacío taxonómico esencial en esta localidad, tal cual lo recomienda (Herzog et al., 2010).

5.2 Número de individuos por parcela

La mayor cantidad de individuos se registró en la parcela Betulia 1, esto puede deberse a varias razones, la principal es que se encuentra dentro de una Reserva Forestal Privada de difícil acceso, por lo que ha sido poco intervenida, aunque la alta humedad, combinada con los demás factores meteorológicos y ambientales de estas zonas alto andinas, también pueden propiciar de cierta manera la mayor llegada de individuos al grosor de fustales. En cambio, y como era de esperarse, el páramo presentó una baja cantidad de individuos arbóreos, ya que es un ecosistema que se caracteriza por presentar condiciones meteorológicas extremas, que han llevado a las plantas a

desarrollar mecanismos de adaptación morfo-fisiológicas como el achaparramiento, el lento crecimiento y la baja tasa de engrosamiento, lo que de alguna manera explica el bajo número de fustales (Duarte et al., 2014).

Igualmente, en la parcela denominada como San Cayetano (bs-T) se encontró una baja cantidad de individuos (250). Esto puede deberse tanto a las condiciones únicas y extremas que posee este ecosistema, como a la pérdida avanzada y exponencial de los bosques secos en el país. Esta alta pérdida de bosques secos, obedece a que en estas condiciones se desarrollan árboles con maderas muy finas, y han sido un foco de presión y asentamiento antrópico, los cuales han aprovechado de manera insostenible los recursos de estos ecosistemas, lo que redujo en más del 90% la cobertura original de dichos bosques en Colombia (Pizano & Garcia, 2014).

5.3 Endemismo

Las parcelas que registraron mayor grado de endemismo fueron las dos parcelas ubicadas en el municipio de Betulia y la parcela El Rasgón (*Figura 31*), las cuales cada una presenta siete especies endémicas, las tres están inmersas dentro de la zona de vida bmh-MB. Lo anterior, lleva a pensar en las variables ambientales como factores determinantes en la distribución y generación de endemismos en las diferentes zonas geográficas (FAO, 2016).

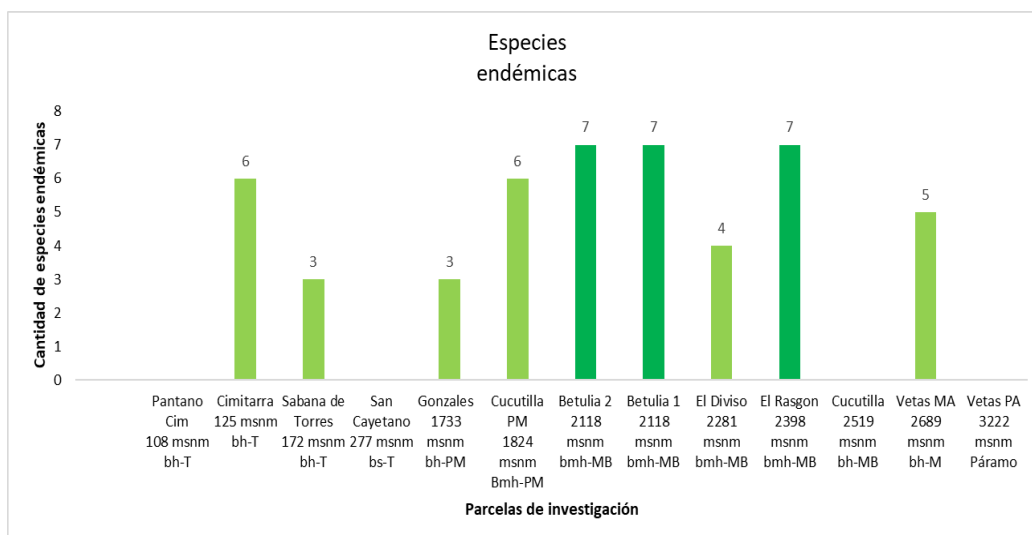


Figura 31. Cantidad de endemismos registrados para cada una de las parcelas

5.3 Índices de diversidad Alfa

Para las parcelas que presentaron un índice de Margalef superior a tres, es válido decir que, aunque algunos de estos bosques han sufrido cierta intervención antrópica, al encontrarse en su mayoría inmersos en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), son comunidades vegetales en las que se ha mantenido una diversidad florística relativamente buena, la única parcela que presentó un valor atípico fue la de Pantano Cimitarra, pues la medida de su diversidad se ve afectada por ser un bosque mono dominado en este caso por la especie *Euterpe oleracea*.

El índice de Berger Parker reafirma la existencia de la mono dominancia en la parcela Pantano Cimitarra, pues al expresar un valor de 0,5 denota la presencia de una especie altamente dominante para este bosque, que para este caso fue *Euterpe oleracea*, además, este índice explica de mejor forma la baja diversidad de la parcela Vetas PA que presenta el valor más alto de todas las parcelas con 0,7, denotando que la baja diversidad de esta parcela se debe a que está dominada por solo cuatro especies, que a pesar de las condiciones adversas logran alcanzar un DAP de fustal.

5.4 Efecto del gradiente altitudinal en la diversidad Beta

De acuerdo a lo encontrado por (Fernández, 2018) y contrario a lo encontrado por (González et al., 2018), el test de Mantel realizado entre la distancia de Bry-Curtis y la altitud, si presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) (*Figura 26*). Esto determina que la altitud si tiene efecto sobre el recambio de la diversidad a nivel de especies.

Este resultado se da, a pesar de que en este gradiente altitudinal se tomó en cuenta la recomendación de (Fernández, 2018), pues este estudio abarca un gradiente altitudinal más amplio, y a su vez, una cantidad más diversa de ecosistemas, por lo que inicia en un bosque húmedo tropical, pasa por el bosque seco y continua hasta llegar incluso a la zona límite de la vegetación, el páramo.

En contraste a lo encontrado en algunos estudios realizados en gradientes altitudinales (Fernández, 2018; González et al., 2018), la distancia geográfica sí tuvo efecto sobre el recambio de la diversidad a nivel de especies, pues de acuerdo con el test de Mantel realizado entre la distancia de Bry-Curtis y la distancia geográfica, en este estudio sí se presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) (*Figura 27*). Esto puede deberse a que se tomó un rango geográfico más amplio, en donde se abarca incluso tres departamentos diferentes Santander, Norte de Santander y Cesar (*Figura 1*).

5.5 Efecto de las variables meteorológicas en la diversidad Alfa

A pesar de que la comunidad científica aún no comprende completamente los mecanismos que crean y mantienen los patrones de riqueza, y que se considera que es casi imposible prever qué

sucedirá con la diversidad en un área determinada cuando se induce un cambio en uno o más parámetros (Girardin et al., 2014), en este estudio y otros trabajos académicos (Anderson et al., 2011; Fernández, 2018; Lobo, 2000; Matteucci, Colma, & Pla, 1999), sí se encuentran ciertas correlaciones significativas entre la variación en la diversidad y algunas variables meteorológicas de cada uno de los pisos altitudinales.

Para el gradiente altitudinal en estudio y con el proceso estadístico realizado se determinó que el número de familias, de géneros y de especies presentes en las parcelas de investigación, se ven influenciados mayormente por las variables bioclimáticas que se derivan del factor temperatura, ya que las variables que dependen del factor precipitación son descartadas por las regresiones con eliminación paso a paso, casi inmediatamente se comienza dichos procesos.

Las variables que tienen significancia para el recambio de diversidad a nivel de familias son la altitud y casi todas las variables bioclimáticas provenientes del factor temperatura (Bio1, Bio2, Bio3, Bio4, Bio5, Bio6, Bio8, Bio9, Bio10, Bio11), se trató de cumplir el principio de parsimonia, pues a pesar de presentar gran cantidad de variables influyentes, se verificó que cada una de ellas tuviera una participación equitativa en la cantidad de varianza explicada de la variable respuesta.

Por otra parte, las variables que tienen significancia en el recambio de diversidad a nivel de géneros y especies en las dos regresiones lineales realizadas para las mismas fueron muchas menos que las de a nivel de familia, aunque sí se mantiene el mismo patrón que en las familias, puesto que son algunas de las variables bioclimáticas que dependen del factor temperatura (Bio2, Bio3, Bio5, Bio6), y no las que provienen del factor precipitación las que intervienen en la variación de la diversidad del gradiente altitudinal en estudio.

6. Conclusiones y Recomendaciones

Basados en el hecho de que tal vez el 50% de la biodiversidad de la región Andina aún no ha sido descrita (Herzog et al., 2010) , es válido afirmar que éste estudio contribuye notablemente a mejorar los listados regionales de especies arbóreas sobre todo de áreas conservadas, las cuales se pueden considerar como una muestra representativa de las comunidades vegetales que se reestructuran con las condiciones de fragmentación y sus efectos acumulados en cada región (Fernández, 2018).

Para el gradiente altitudinal en estudio se comprobó que el recambio de la diversidad a nivel de especies tiene una correlación moderada con el cambio altitudinal y la distancia geográfica.

La altitud al ser un factor que está directamente correlacionado con la mayoría de las variables bioclimáticas de una zona, se convierte en uno de los principales factores que ocasiona, que las comunidades vegetales disminuyan o aumenten su riqueza y dominancia, a la vez que ayuda a generar la alta tasa de recambio de especies que se presenta a lo largo del gradiente en estudio, aunque hay que tener en cuenta que éste es un proceso en el que influyen diversas variables tanto ambientales, meteorológicas, antrópicas, edáficas, entre muchas otras (Girardin et al., 2014).

Se recomienda continuar estudiando los efectos que tienen cada uno de los factores que inciden de manera directa e indirecta en la variación de la diversidad de los múltiples gradientes que se presentan en la cordillera Andina, incluso se propone que se amplíe el área de estudio para que abarque una zona de muestreo más extensa, además de esto, aumentar la cantidad de variables evaluadas, lo que permitirá acercarse cada vez más a entender cuáles y cómo actúan los procesos que determinan el aumento o disminución de la diversidad arbórea de un lugar (Fernández, 2018).

Referencias Bibliográficas

- Aguirre, Z., Reyes, B., Quizhpe, W., & Cabrera, A. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 543–556. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24207>
- Alvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., de las Salas, G., del Valle, I., ... Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267(1), 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.013>
- Álvarez, L. M., Sanín, D., Álzate, N., Castaño, N., Mancera, J. C., & González, G. (2007). *Plantas De La Región Centro - Sur De Caldas*. Manizales, Colombia: Universidad de Caldas. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/318250812_Plantas_de_la_Region_Centro_sur_de_Caldas
- Alvear, M., Betancur, J., & Franco-Rosselli, P. (2010). Diversidad Florística y Estructura de Remanentes de Bosque Andino en la Zona de Amortiguación del Parque Nacional Natural Los Nevados, Cordillera Central Colombiana. *Caldasia*, 32(1), 39–63. <https://doi.org/10.15446/caldasia>
- Anderson, E. P., Marengo, J., Villalba, R., Young, B., Cordero, D., Gast, F., & Jaimes, E. (2011). Consequences of Climate Change for Ecosystems and Ecosystem Services in the Tropical Andes. In *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. São José dos Campos, Brazil: Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/265030120%0AConsequences>
- Armenteras, D., Gast, F., & Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113(2), 245–256. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00359-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00359-2)
- Armenteras, D., & Rodríguez, N. (2007). *Estado actual y cambio en los ecosistemas de los Andes colombianos. Monitoreo de los ecosistemas andinos 1985-2005: Síntesis y perspectivas*. Bogotá, D.C.: ©Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J., & Morales, M. (2011). Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 11(3), 693–705. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0200-y>
- Ávila, F. A., Ángel, S. P., & López, R. (2009). Diversidad y Estructura de un Robledal en la Reserva Biológica Cachalú, Encino (Santander-Colombia), 13(1), 87–117. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/4239/423939613004.pdf>
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(2), 136–147. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=709>
- Bernal, R., Gradstein, S. R., & Celis, M. (2015). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Recuperado November 6, 2018, de <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/>
- Bernal, Rodrigo, Gradstein, R., & Celis, M. (2014). Universidad Nacional de Colombia: Inicio. Recuperado September 23, 2019, de <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/>
- Betancur, J., Galindo, R., & Cadena, J. (2003). Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del Santuario de Flora y Fauna Guanenta-Alto Rio Fonce, Cordillera Oriental colombiana. *Caldasia*, 25(2), 313–335. Recuperado de <http://kdb.kew.org/kdb/detailedresult.do?id=366224>
- BirdLife, I., International, C., Boyla, K., & Estrada, A. (2005). *Áreas importantes para la conservación de las aves en los Andes tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad*. Quito, Ecuador: BirdLife International. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=w4VFAQAIAAJ>
- Bohorquez, A., Sanín, D., & Silva, N. (2011). Estructura Y Composición Arbórea De Los Bosques Del Diablo (San Felix, Salamina, Caldas), Selva Altoandina De La Cordillera Central Colombiana. *Boletín Científico - Centro de Museos - Museo de Historia Natural*, 16(2), 39–52. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n2/v16n2a04.pdf>
- Boyle, B., Enquist, B., Raygoza, J., Hopkins, N., Lu, Z., Matasci, N., ... Yarmchuk, J. (2013). Taxonomic Name Resolution Service - About. Recuperado September 19, 2019, de <http://tnrs.iplantcollaborative.org/about.html>

- Brenes, G. (2014). Parcelas de muestreo permanente, una herramienta de Investigación de nuestros Bosques. Recuperado May 24, 2019, de <http://www.acguanacaste.ac.cr/rothschildia/v1n1/textos/16.html>
- Bush, M., Hanselman, J. A., Henry, H., & Flenley, J. R. (2007). Andean montane forest and climate change. In *Tropical rainforest responses to climatic change* Vol. 44, pp. 44–50. Berlin, Heidelberg, Germany.: Springer. <https://doi.org/10.5860/choice.44-5047>
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS, Version 9.1: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Software and User's Guide). Recuperado de <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>.
- Cuatrecasas, J. (1934). Observaciones geobotánicas en Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 27(1), 207. Recuperado de http://www.accefyn.com/revista/Vol_1/n3/204_observacionesgeobotanicas_colombia.pdf
- Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Parte II. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(Suplemento), 221–264. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.599>
- Devia, C., Moncaleno, A., & Niño, L. (2014). *Flora del bosque seco de los Archipiélagos Islas del Rosario y San Bernardo*. Cartagena, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano: INCODER. Recuperado de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/12/flora-del-bosque-seco-de-los-archipelagos-islas-del-rosario-y-san-bernardo.pdf>
- Duarte, C., Galeano, J., & Cotrina, F. (2014). Estudio ecológico de la vegetación en el páramo el Verjón ubicado en el municipio de Choachí Cundinamarca. *TECCIENCIA*, 6(11), 73–82. Recuperado de <http://tecciencia.ecci.edu.co/index.php/TECCIENCIA/article/view/62/61>
- Etter, A., & Wyngaarden, W. van. (2016). Patterns of Landscape Transformation in Colombia , with Emphasis in the Andean Region. *Royal Swedish Academy of Sciences*, 29(2), 432–439. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.7.432>
- FAO. (2016). Las montañas, la diversidad biológica y su conservación. Recuperado October 4,

2019, de <http://www.fao.org/3/w9300s/w9300s09.htm>

Fernández, M. F. (2018). *Diversidade multidimensional de florestas tropicais em um gradiente de altitude na Cordilheira dos Andes*. (Tesis Doctoral). Brasil : Universidade Federal de Vicosa - Campus Vicosa. Recuperado de https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/25762/texto_completo.pdf?sequence=1

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Franco, P., Betancur, J., & L, J. F.-A. (1997). Diversidad Florística En Dos Bosques Subandinos del Sur de Colombia. *Caldasia*, 19(1444), 205–234. Recuperado de www.jstor.org/stable/44241972

Gárzon, M. A. S., & López, C. A. (2000). Composición Florística y Dinámica sucesional de los bosques primarios y secundarios de 10 y 20 años en 3 zonas representativas del valle medio del Magdalena. *Revista Colombia Forestal*, 6(13), 39–51. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/download/3266/4764?inline=1>

Gentry, A. H. (1995). Patterns of diversity and floristic composition in Neotropical Montane Forests. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. New York Botanical Garden, 1993, 103–126. Churchill, USA. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000083&pid=S0102-3306201400030001900011&lng=en

Girardin, C. A. J., Farfan-Rios, W., Garcia, K., Feeley, K. J., Jørgensen, P. M., Murakami, A. A., ... Malhi, Y. (2014). Spatial patterns of above-ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects. *Plant Ecology and Diversity*, 7(1–2), 161–171. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820806>

González, R., Treviño, E., Duque, Á., González, M., Gómez, M., & Bautista, A. (2018). Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 37–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.142>

- Halbritter, A. H., Alexander, J. M., Edwards, P. J., & Billeter, R. (2013). How comparable are species distributions along elevational and latitudinal climate gradients? *Global Ecology and Biogeography*, 22(11), 1228–1237. <https://doi.org/10.1111/geb.12066>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–9. Recuperado de https://paleo.carleton.ca/2001_1/past/past.pdf
- Henderson, A., Churchill, S. P., & Luteyn, J. (1991). Neotropical Plant Diversity. *Nature*, 353(2), 412–414. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/351021e0>
- Hernández, M., Rosales, N., & Cortés, S. (2011). Riqueza y diversidad florística de un bosque de niebla subandino en la reserva forestal laguna de pedro palo (Tena – Cundinamarca, Colombia). *Facultad de Ciencias Basicas Universidad Nueva Granada*, 2(1), 32–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rfcb.2109>
- Herzog, S. K., Martínez, R., Jørgensen, P. M., & Tiessen, H. (2010). *Climate change effects on the biodiversity of the tropical Andes*. (INTER-AMERICAN INSTITUTE FOR GLOBAL CHANGE RESEARCH, Ed.), *SCOPE*. <https://doi.org/10.13140/2.1.3718.4969>
- Homeier, J., W Breckle, S., Günter, S., T Rollenbeck, R., & Leuschner, C. (2009). Tree Diversity, Forest Structure and Productivity along Altitudinal and Topographical Gradients in a Species-Rich Ecuadorian Montane Rain Forest. *Biotropica*, 42(2), 140–148. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00547.x>
- Hooghiemstra, H., & Van der Hammen, T. (2010). Prof. Dr. Thomas van der Hammen (1924–2010). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162(2), 116–118. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2010.06.002>
- IUCN. (2019). The IUCN Red List of Threatened Species. Recuperado September 23, 2019, de <https://www.iucnredlist.org/es/>
- Kappelle, M., & Brown, A. (2001). Introduccion a Los Bosques Nublados De Latinoamerica. Santo Domingo, Costa Rica: *Instituto Nacional de Biodiversidad: INBio*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/254778948>
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los tropicos los ecosistemas forestales en los bosques

- tropicales y sus especies arbóreas. posibilidades y para un aprovechamiento sostenido. Bonn, Alemania: GTZ. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/Silvicultura_en_los_tr%C3%B3picos.html?id=1H0JywAACAAJ&redir_esc=y
- Lande, R. (1996). Statistics and Partitioning of Species Diversity, and Similarity among Multiple Communities. *Oikos*, 76(1), 5–13. <https://doi.org/10.2307/3545743>
- Linares, J., & Orozco, M. (2009). Estado del bosque seco tropical e importancia relativa de su flora leñosa, islas de la vieja providencia y santa catalina, Colombia, caribe suroccidental. *Academia Colombiana de Ciencias*, 33(126), 5–16. Recuperado de http://www.accefyn.com/revista/Vol_33/126/5-16.pdf
- Lobo, J. (2000). ¿Es posible predecir la distribución geográfica de las especies basándonos en variables ambientales? Recuperado October 4, 2019, de <http://entomologia.rediris.es/pribes/Lobo/Subproyecto3.htm>
- López, W., & Duque, Á. (2010). Patrones de diversidad alfa en tres fragmentos de bosques montanos en la región norte de los Andes, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 483–498. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58n1/a34v58n1.pdf>
- Magurran. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Malden, USA: John Wiley & Sons, Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=fljsaxmL_S8C
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=X7b7CAAAQBAJ>
- Matteucci, S., Colma, A., & Pla, L. (1999). Biodiversidad Vegetal En El Árido Falconiano (Venezuela). *INTERCIENCIA*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- McCain, C. M. (2004). The mid-domain effect applied to elevational gradients: Species richness of small mammals in Costa Rica. *Journal of Biogeography*, 31(1), 19–31. <https://doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00992.x>

- Moreno, C. E. (2001). *Metodos para medir de la diversidad*. Zaragoza, España: U. ORCYT: UNESCO Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe. Recuperado de <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Moreno, C. E., Zuria, I., García-zenteno, N. M., Sánchez-rojas, G., Castellanos, I., Martínez-morales, M. Á., ... Rojas-martínez, A. (2006). Trends in the measurement of alpha diversity in the last two decades. *INTERCIENCIA*, 31(1), 67–71. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/259871742%0ATrends>
- Mosquera, L., Robledo, D., & Angélica, A. (2007). Diversidad florística de dos zonas de bosque tropical húmedo en el municipio de Alto Baudó, Chocó, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 12(1), 75–90. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028602006>
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., da Fonseca, G., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(1), 853–858. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/35002501>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., Mcglinn, D., ... Szoecs, E. (2019). *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/313502495_Vegan_Community_Ecology_Package
- Olano, J., & Luzuriaga, A. L. (2008). *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*. Madrid, España : Dykinson S. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2010000200012>
- Peet, R. (2002). The measurement of species diversity. *Urban Forestry and Urban Greening*, 1(2), 83–96. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00009>
- Pennington, R. T., Lavin, M., Sarkinen, T., Lewis, G. P., Klitgaard, B. B., & Hughes, C. E. (2010). Contrasting plant diversification histories within the Andean biodiversity hotspot. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(31), 13783–13787. <https://doi.org/10.1073/pnas.1001317107>
- Phillips, O., Baker, T., Feldpausch, T., & Roel, B. (2016). *RAINFOR manual de campo para el establecimiento y la remediación de parcelas*. Rainfor. Recuperado de

http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Manual/RAINFOR_field_manual_version2016_ES.pdf

Pizano, C., & Garcia, H. (2014). *EL BOSQUE SECO TROPICAL EN COLOMBIA*. Bogotá D.C, Colombia: PIZANO. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/265468424_Pizano_C_y_H_Garcia_Editores_2014_El_Bosque_Seco_Tropical_en_Colombia_Instituto_de_Investigacion_de_Recursos_Biologicos_Alexander_von_Humboldt_IAvH_Bogota_DC_Colombia

Prada, C. M., Morris, A., Andersen, K. M., Turner, B. L., Caballero, P., & Dalling, J. W. (2017). Soils and rainfall drive landscape-scale changes in the diversity and functional composition of tree communities in premontane tropical forest. *Journal of Vegetation Science*, 28(4), 859–870. <https://doi.org/10.1111/jvs.12540>

Price, M. F., Gratzner, G., Duguma, L. A., Kohler, T., Maselli, D., & Romeo, R. (2011). *Mountain Forests in a Changing World Realizing values, addressing challenges*. Rome, Italy: FAO. <https://doi.org/10.13140/2.1.2386.5283>

Quintero, M., Wunder, S., & Estrada, R. D. (2009). For services rendered? Modeling hydrology and livelihoods in Andean payments for environmental services schemes. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1871–1880. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.04.032>

R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado October 4, 2019, de <https://www.r-project.org/>

Rangel, J. O. (2000). *La Región de Vida Paramuna de Colombia*. Bogotá D.C, Colombia: Instituto Alexander Von Humboldt. Recuperado de <http://www.uneditorial.net/pdf/TomoIII.pdf>

Rangel, & Velazquez, A. (1997). *Metodos de estudio de la vegetacion*. Bogota D.C, Colombia: Rangel-Ch: J.O: P. Lowy-C: M. Aguilar-P. Recuperado de <https://issuu.com/diversidadbiotica/docs/namec752f4>

Rojas, W., Estevez, J., & Nestor, R. (2008). Estructura Y Composición Florística De Remanentes De Bosque Húmedo Tropical En El Oriente De Caldas, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 12(1), 24–37. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v12n1/v12n1a02.pdf>

- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2001). *Ecología*. Madrid, España: Pearson Educación. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=AdPSNAAACAAJ>
- Sonco, R. (2013). *Estudios de la diversidad alfa y beta en Tres Localidades de un Bosque Montano en la Region de Madidi, la Paz Bolivia*: Universidad Mayor de San Andres. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/4225>
- Tejedor, N., Álvarez, E., Arango Caro, S., Araujo Murakami, A., Blundo, C., Boza Espinoza, T., ... Cruz, V. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Ecosistemas*, 47(5), 148–166. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=722>
- The Plant List. (2013). The Plant List. Recuperado November 6, 2018, de <http://www.theplantlist.org/>
- Urrego, D., González, C., Castaño, G., Colorado, G., Echeverri, S., Lema, L., ... Riascos, E. (2000). *Estudios Ecológicos en el area de influencia del proyecto hidroelectrico Porce II*. Medellin, Colombia: Empresas Publicas de Medellin EPM : Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Van der Hammen, T., & Cleef, M. (1983). Trigonobalanus and the Tropical Amphi-Pacific Element in the North Andean Forest. *Journal of Biogeography*, 10(5), 437–440. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/2844750>
- Van der Hammen, T., Rangel, J. O., & Velázquez, A. (1997). *Colombia Diversidad Biótica II: Tipos de vegetación en Colombia*. Bogota, DC, Colombia: Instituto Alexander Von Humboldt. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Whittaker. (1972). Evolution and Measurement of Species. *TAXON International Association for Plant Taxonomy*, 21(2), 213–251. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/1218190> .
- Wilson, & Shmida. (1984). Measuring Beta Diversity with Presence-Absence Data, 72(3), 1055–1064. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/2259551>

Apéndices

Apéndice A. Especies endémicas, nativas y cultivadas o que se encuentran en algún estado de conservación

Espece	Origen	Estado de conservación	Código en la UICN
<i>Aniba perutilis</i>	Nativa	En peligro crítico	(CR)
<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	Nativa	Casi amenazada	(NT)
<i>Bactris major</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Bignonia aequinoctialis</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Blakea quadrangularis</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Brugmansia aurea</i>	Nativa y cultivada	No evaluada	*
<i>Brunellia goudotii</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Byrsonima nemoralis</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Casearia aculeata</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Casearia javitensis</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Cecropia angustifolia</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Cecropia peltata</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Cecropia telealba</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Cecropia telenitida</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Cedrela montana</i>	Nativa	Casi amenazada	(NT)
<i>Ceiba pentandra</i>	Nativa y cultivada	No evaluada	*
<i>Ceroxylon vogelianum</i>	Nativa	Vulnerable	(VU)
<i>Cinchona pubescens</i>	Nativa y cultivada	No evaluada	*
<i>Clusia alata</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Clusia multiflora</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Cordia acuta</i>	Endémica	Preocupación menor	(LC)
<i>Cordia bicolor</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Cordia cylindrostachya</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Corythophora labriculata</i>	Nativa	Vulnerable	(VU)

Especie	Origen	Estado de conservación	Código en la UICN
<i>Couepia racemosa</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Couratari guianensis</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Coussarea paniculata</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Coutarea hexandra</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Critoniopsis glandulata</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Critoniopsis lindenii</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Dichapetalum spruceanum</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Ephedranthus colombianus</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Eschweilera antioquiensis</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Eschweilera coriacea</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Eschweilera microcalyx</i>	Nativa	Casi amenazada	(NT)
<i>Espeletia robertii</i>	Nativa	En peligro	(EN)
<i>Euterpe oleracea</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Euterpe precatoria</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Freziera arbutifolia</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Geissanthus betancurii</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Geissanthus occidentalis</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Gordonia pubescens</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Grias haughtii</i>	Endémica	Preocupación menor	(LC)
<i>Guarea kunthiana</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Guatteria cestrifolia</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Guettarda crispiflora</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Gustavia longifuniculata</i>	Endémica	En peligro	(EN)
<i>Gustavia romeroi</i>	Endémica	En peligro	(EN)
<i>Heliotropium indicum</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Hirtella mutisii</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Hymenaea oblongifolia</i>	Nativa	Casi amenazada	(NT)

Espece	Origen	Estado de conservación	Código en la UICN
<i>Jacaranda caucana</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Jacaranda copaia</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Jacaranda hesperia</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Lacistema aggregatum</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Machaerium biovulatum</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Machaerium capote</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Magnolia chimantensis</i>	Nativa	En peligro crítico	(CR)
<i>Meliosma glossophylla</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Meriania quintuplinervis</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Miconia pergamentacea</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Miconia plena</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Nectandra weddellii</i>	Nativa	En peligro	(EN)
<i>Oenocarpus bataua</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Piper trigonum</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Podocarpus oleifolius</i>	Nativa	Vulnerable	(VU)
<i>Posoqueria latifolia</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Pourouma bicolor</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Pouteria caimito</i>	Nativa y cultivada	No evaluada	*
<i>Quercus humboldtii</i>	Nativa y cultivada	Vulnerable	(VU)
<i>Randia armata</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Rhytidanthera splendida</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Ruagea glabra</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Schefflera bejucosa</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Schefflera trianae</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Schefflera uribei</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Schizolobium parahyba</i>	Nativa y cultivada	No evaluada	*
<i>Senegalia polyphylla</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Senna bacillaris</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)

Especie	Origen	Estado de conservación	Código en la UICN
<i>Simaba cedron</i>	Nativa y cultivada	No evaluada	*
<i>Sloanea brevispina</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Sloanea gracilis</i>	Nativa	Vulnerable	(VU)
<i>Spondias mombin</i>	Nativa y cultivada	No evaluada	*
<i>Swartzia macrophylla</i>	Endémica	No evaluada	*
<i>Swartzia simplex</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Tabebuia chrysantha</i>	Nativa y cultivada	Preocupación menor	(LC)
<i>Turpinia occidentalis</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Vismia baccifera</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Wettinia microcarpa</i>	Endémica	Vulnerable	(VU)
<i>Zygia longifolia</i>	Nativa	Preocupación menor	(LC)
<i>Zygia picramnioides</i>	Endémica	No evaluada	*

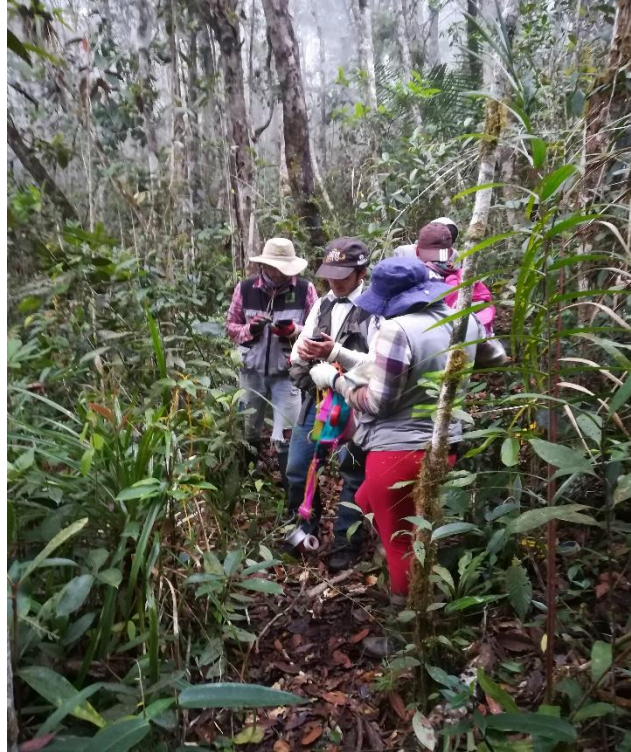
* Especies que aún no han sido evaluadas por la UICN

Apéndice B. Variables bioclimáticas para cada una de las parcelas de investigación

Parcela	Altura msnm	Bio 1	Bio 2	Bio 3	Bio 4	Bio 5	Bio 6	Bio 7	Bio 8	Bio 9	Bio 10	Bio 11	Bio 12	Bio 13	Bio 14	Bio 15	Bio 16	Bio 17	Bio 18	Bio 19
Pantano Cim	108	278	101	87	281	337	221	116	276	279	281	274	2510	321	47	43	878	239	548	833
Cimitarra	125	277	100	87	253	335	221	114	275	278	280	274	2526	327	55	41	869	276	558	839
Sabana de Torres	172	277	105	90	260	335	219	116	273	276	279	273	2662	403	45	46	1010	239	530	1010
San Cayetano	277	269	109	81	727	338	204	134	271	276	277	259	1293	216	45	49	503	162	220	231
Gonzales	1733	184	104	77	589	249	115	134	188	177	189	175	1342	209	18	57	549	98	441	100
Cucutilla PM	1824	168	91	83	398	220	111	109	169	162	171	162	1394	210	48	44	500	178	467	178
Betulia 2	2118	161	95	85	282	216	105	111	159	158	165	157	1705	233	57	34	568	244	482	334
Betulia 1	2118	161	95	85	282	216	105	111	159	158	165	157	1705	233	57	34	568	244	482	334
El Diviso	2281	149	94	82	317	203	89	114	148	145	152	144	1243	181	35	41	441	152	380	237
El Rasgón	2398	143	95	81	345	198	81	117	141	138	147	138	1305	193	33	44	466	148	400	230
Cucutilla	2519	132	91	79	444	183	68	115	136	125	136	125	954	129	22	45	338	87	338	87
Vetas MA	2689	122	92	77	338	179	60	119	126	118	127	118	966	124	19	46	357	80	282	120
Vetas PA	3222	88	89	71	408	145	20	125	91	83	92	83	1051	135	18	49	397	85	308	85

Bio1: Temperatura media anual; Bio2: Rango diurno medio; Bio3: Isotermalidad; Bio4: Estacionalidad de temperatura; Bio5: Temperatura máxima del mes más cálido; Bio6: Temperatura mínima del mes más frío; Bio7: Rango anual de temperatura; Bio8: Temperatura media del trimestre más húmedo; Bio9: Temperatura media del trimestre más seco; Bio10: Temperatura media del trimestre más cálido; Bio11: Temperatura media del trimestre más frío; Bio12: Precipitación anual; Bio13: Precipitación del mes más húmedo; Bio14: Precipitación del mes más seco; Bio15: Estacionalidad de precipitación; Bio16: Precipitación del trimestre más húmedo; Bio17: Precipitación del trimestre más seco; Bio18: Precipitación del trimestre más cálido; Bio19: Precipitación del trimestre más frío.

Apéndice C. Trabajo en campo en las parcelas de investigación



Apéndice D. Hoja joven de Cecropia telenivea colectada en la parcela El Rasgón



Apéndice E. Marcaje con tubos de PVC, cinta zapote, cinta de enmascarar y plaquetas de cada uno de los puntos que delimitan la parcela de investigación.



Apéndice F. Medición y demarcaje del DAP de árbol fenestrado



Apéndice G. Plaqueta de identificación única para cada individuo



Apéndice H. Marcaje con pintura asfáltica amarilla del DAP de un individuo arboreo



Apéndice I. Inventario en bosques de Betulia, Santander



Apéndice J. Muestra de *Protium cundinamarsense* encontrado en las parcelas Betulia 1 y 2



Apéndice K. Equipo de trabajo de campo



Apéndice L. Colecta de muestras Botánicas

