

**Caracterización Florística del Bosque Húmedo Montano Bajo
en el Municipio de San Miguel (Santander)**

Mónica Patricia Peña Jaimes, Lorena Rodríguez Dulcey

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Jorge Andrés Rodríguez Toro

Ing. Forestal, PhD en Cs. Forestales

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2018

DEDICATORIA

*Este proyecto está dedicado primeramente a **Dios** por ser mi guía y por su inmensa bondad y misericordia.*

*A mi hijo **Christopher Johan**, mi motor de vida por quien lucho cada día para seguir mis sueños, a mi madre **Mercedes Jaimes Duran** y mi hermana **Astrid F. Peña Jaimes**, por todo su amor, quienes siempre han creído en mí, las que me han demostrado que todo se logra con esfuerzo, perseverancia y fe, mis ejemplos de vida y las que siempre han estado a mi lado a pesar de las adversidades brindándome su apoyo incondicional.*

*A toda mi familia, amigos y docentes que de una u otra manera me brindaron su apoyo para conseguir esta meta, especialmente a mi tía **Lucy Stella Peña de Higuera**, mi compañera de tesis **Lorena Rodríguez Dulcey** y mi amiga **Laura L. Abril Alvarado** por todo su apoyo y cariño en este maravilloso paso por la universidad.*

Infinitas gracias a todos.

Mónica Patricia Peña Jaimes

“Sólo hay una cosa que hace que un sueño sea imposible de lograr: el miedo al fracaso”.

-Paulo Coelho.

Doy infinitas gracias...

A Dios por guiarme en cada uno de mis pasos durante este proyecto y todas aquellas oportunidades que me permitieron crecer como persona.

*A mis padres **José del Carmen Rodríguez Llanes** y **Mercedes Dulcey Gómez**, por ser mi apoyo constante durante mi primera meta profesional, que con cada uno de sus consejos me permitieron tomar las mejores decisiones en mi vida, por ser el mejor ejemplo a seguir, por creer en mí y motivarme cada mañana... Por su amor infinito, este triunfo realmente es para ustedes.*

*A mis hermanas **Yesica Vanessa Rodríguez Dulcey** e **Ingrid Tatiana Rodríguez Dulcey** que con cariño me han apoyado desde la distancia, puedo demostrándoles que a pesar de los obstáculos con perseverancia y constancia se triunfa en la vida.*

*A mi tía **Graciela Rodríguez Llanes**, quien me acogió en su hogar y permitió cumplir este sueño, que con su positivismo y carisma que la identifica logra sacar mil y una sonrisas en momentos difíciles.*

A mis amigos por cada enseñanza y experiencias vividas durante este ciclo de la vida, por todos los momentos de alegría y tristeza que nos unieron como una familia.

A los docentes de la Universidad Industrial de Santander Sede Málaga, por sus enseñanzas, paciencia y acompañamiento durante el desarrollo de la carrera

Lorena Rodríguez Dulcey

“Hallarás en los bosques algo más que en los libros. Los árboles y las piedras te enseñarán cosas que no podrás aprender de labios de ningún maestro”.

- BERNARDO DE CLARVAL

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su reconocimiento a todas aquellas personas que por su apoyo, colaboración y acompañamiento en el desarrollo de nuestro proyecto de grado, hicieron posible la culminación de este:

- ❖ Nuestro agradecimiento a la coordinadora Deicy Dalila Delgado Díaz, por habernos hecho llegar la propuesta de este proyecto.
- ❖ A nuestro director, Jorge Andrés Rodríguez Toro, PhD, por su apoyo en la revisión del documento y por las enseñanzas de nuevas metodologías que nos ayudaron con la terminación del proyecto de una manera clara, precisa y con nuevos conocimientos para nuestra vida laboral.
- ❖ Al señor Alcalde Oscar Ramiro Ortiz Ávila, por su atención y colaboración en nuestra fase de campo.
- ❖ Al Sr Gilberto Salazar Villamil, encargado de la unidad municipal de asistencia técnica del municipio de San Miguel, por el recorrido inicial en las diferentes veredas del municipio.
- ❖ Al párroco del municipio de San Miguel el señor José Miguel Vergara Camacho y el padre Miguel Antonio Díaz, por su colaboración en el hospedaje durante los días en el que se desarrolló la etapa de campo del proyecto.
- ❖ A la Ing. Alba Johana Reyes Barajas, que gracias a su gestión en la alcaldía municipal de San Miguel, se obtuvo el transporte para el desplazamiento de diferentes lugares de muestreo.

- ❖ A los presidentes de la junta de acción comunal de las diez veredas del municipio; en especial a la Sra. Eddy Johana Veloza Sanabria presidenta de la vereda Zaragoza, el Sr. Wilmán Trujillo Villamil presidente de la vereda de San Pedro, el Sr. Eli Ayala Monsalve presidente de la vereda Santa Helena y al Sr. Edwin Suárez Delgado presidente de la vereda de Lajas, que por su colaboración se logró el desplazamiento a las diferentes veredas.
- ❖ Al Sr. José Castellanos, por su acompañamiento en el trabajo de campo y reconocimiento de las especies presentes en la zona.
- ❖ A nuestros compañeros Fabián Leonardo Becerra Zarate y Edwin Fabián Jaimes Cárdenas, por su acompañamiento en trabajo de campo.
- ❖ A la comunidad Sanmigueleña en general, por la aceptación y colaboración en el proyecto, en especialmente a la Sr. Margarita García, al Sr. Pablo Suarez, a la Sr. Martina Fuentes Villamil, a la Sr. Ana Ayala, al Sr. Raúl Reyes Salazar y la Sr. Guillermina.
- ❖ A la docente Sandra Milena Díaz López, y a el docente Herwin Ramiro Roa Caicedo, por su colaboración en la identificación de especies.
- ❖ A la Ing. María Constanza Mesa Elizalde, por sus aportes en la parte metodológica del proyecto.
- ❖ A nuestros amigos y familiares, que con su apoyo hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

Tabla de contenido

Introducción	20
1. Planteamiento del problema.....	22
1.1 Definición del problema	22
1.2 Antecedentes	22
1.3 Justificación	25
2. Objetivos.....	27
2.1 Objetivo general.....	27
2.2 Objetivos específicos	27
3. Hipótesis	28
4. Marco referencial	28
4.1 Marco teórico.....	28
4.2 Marco conceptual.....	33
4.3 Marco legal	34
5. Métodos.....	35
5.1 Fase 1: Ubicación y delimitación del área de estudio.....	36
5.2 Fase 2: Recolección de información primaria y secundaria.	36
5.3 Fase 3: Selección, adquisición y pre-procesamiento de imágenes satelitales.....	37
5.3.1 Selección de imágenes satelitales.	37
5.3.2 Adquisición de imágenes satelitales.	37
5.3.3 Pre procesamiento de la imagen satelital.	37
5.4 Fase 4: Delimitación de la zona boscosa y ubicación de los conglomerados.	39

5.4.1 Índice de Vegetación Normalizado (NDVI).....	40
5.4.2 Índice de Vegetación Mejorado (EVI).....	41
5.4.3 Índice Tasseled Cap Greenness (TCG).....	41
5.5 Fase 5: Muestreo y diseño de las parcelas.	42
5.6 Fase 6: Sistematización y análisis de la estructura del bosque.	44
5.6.1 Clasificación de especies.	44
5.6.2 Composición florística.	45
5.6.3 Estructura Horizontal.	45
5.6.3.1 Índice de Valor de Importancia.....	45
5.6.3.2 Cociente de Mezcla.....	47
5.6.4 Estructura Vertical.	48
5.6.4.1 Índice de Posición Sociológica.	48
5.6.4.2 Regeneración Natural.....	49
5.6.4.3 Índice de Valor de Importancia Ampliado.....	52
5.6.4.4 Índice de Importancia Ampliado.	53
5.6.4.5 Índices de Predominio Fisionómico.....	53
5.6.5 Diversidad alfa.	54
5.6.5.1 Índices de Riqueza Específica.	54
5.6.5.1.1 Índice de Riqueza de Especies.....	54
5.6.5.1.2 Índice de Margalef.	54
5.6.5.1.3 Índice de Menhinick.	55
5.6.5.2 Medición de la Estructura.....	55
5.6.5.2.1 Índices de Abundancia Proporcional	55

5.6.6 Estado de conservación de las especies	59
6. Resultados y Discusión	60
6.1 Localización del área de estudio	60
6.2 Delimitación de la zona boscosa.....	61
6.3 Ubicación de los conglomerados	67
6.4 Muestreo	67
6.5 Composición florística	74
6.6 Estructura Horizontal	76
6.7 Estructura vertical	79
6.8 Diversidad alfa	90
6.9 Estado de conservación de especie	93
7. Conclusiones	96
8. Recomendaciones	97
Referencias Bibliográficas	98
Apéndices.....	108

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores de estadígrafo del muestreo de la categoría de brinzal.....	72
Tabla 2. Valores de estadígrafo del muestreo de la categoría de latizal.....	72
Tabla 3. Valores de estadígrafo del muestreo de la categoría fustal.....	72
Tabla 4. Valores de estadígrafo del muestreo de la categoría fustal grande.....	73
Tabla 5. Especies encontradas en el área de estudio.....	74
Tabla 6. Valores de Índices que representan la Alfa diversidad del bosque.....	90
Tabla 7. Estado de conservación de las especies encontradas en el bosque.....	93

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Clasificación de los métodos para medir la diversidad alfa. Adaptado de Moreno Claudia (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza España: M&T–Manuales y Tesis SEA. Cooperación Iberoamericana CYTED, Recuperado de http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf	32
<i>Figura 2.</i> Metodología para el desarrollo del proyecto.	36
<i>Figura 3.</i> Interfaz de la herramienta Semi-Automatic Classification Plugin (SPC). Adaptado de Congedo, Luca (2016). Semi-automatic classification plugin documentation. <i>Release 6.0.1.1</i> , 4(0.1), 29. doi: http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1	38
<i>Figura 4.</i> Interfaz de la herramienta de recorte de múltiples rásters.	39
<i>Figura 5.</i> Configuración de la subparcela. Adaptado del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) Manual de Campo Inventario Forestal Nacional Colombia <i>Versión 3.0</i> . Bogotá, Colombia. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestal-nacional	43
<i>Figura 6.</i> Zona de vida: bosque húmedo montano del municipio de San Miguel Santander.	62
<i>Figura 7.</i> Delimitación del bosque, perteneciente a la zona de vida bh-MB del municipio de San Miguel, utilizando la combinación de color natural 432.	63
<i>Figura 8.</i> Delimitación del bosque, perteneciente a la zona de vida bh-MB del municipio de San Miguel, utilizando la combinación de falso color 452.....	64
<i>Figura 9.</i> Delimitación del bosque, perteneciente a la zona de vida bh-MB del municipio de San Miguel, utilizando la combinación de falso color 564.....	65

<i>Figura 10.</i> Delimitación del bosque, perteneciente a la zona de vida bh-MB del municipio de San Miguel, utilizando la combinación de falso color 654.....	66
<i>Figura 11.</i> Índice de vegetación normalizado (NDVI) en el área de bosque.	68
<i>Figura 12.</i> Índice de vegetación mejorado (EVI) en el área de bosque.	69
<i>Figura 13.</i> Índice de vegetación Tasseled Cap Greenness (TCG) en el área de bosque.	70
<i>Figura 14.</i> Ubicación de la unidad de muestreo en el área de bosque para la realización del muestreo.....	71
<i>Figura 15.</i> Índice de valor de importancia IVI de los individuos de la categoría fustal grande y fustal.....	78
<i>Figura 16.</i> Índice de posición sociológica de las especies de la categoría fustal grande y fustal.	81
<i>Figura 17.</i> Regeneración natural de las especies de la categoría latizal y brinzal.....	82
<i>Figura 18.</i> Índice de valor de importancia ampliado para el área de estudio.	84
<i>Figura 19.</i> Índice de importancia ampliado para el área de estudio.	85
<i>Figura 20.</i> Índice de Predominio Fisionómico de las categorías fustal y fustal grande.....	87
<i>Figura 21.</i> Índice de Predominio Fisionómico de la categoría de latizal.	88
<i>Figura 22.</i> Índice de Predominio Fisionómico de la categoría de brinzal.....	89

Lista de Apéndice

Apéndice 1. Fotografías de la socialización del trabajo a realizar en campo con los presidentes de junta de acción comunal de las veredas del municipio de San Miguel.....	108
Apéndice 2. Establecimientos de subparcelas.	109
Apéndice 3. Medición de diámetro de copa, diámetro y altura de los árboles.	110
Apéndice 4. Recolección de muestras botánicas.	111
Apéndice 5. Fotografías de la Zona de estudio.....	112
Apéndice 6. Colecta de especies en campo para su clasificación taxonómica.	113
Apéndice 7. <i>Annona cherimola</i> Mill. (Chirimoyo).....	113
Apéndice 8. <i>Baccharis macrantha</i> Kunth. (Chilco).	114
Apéndice 9. <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz. (Cedro).....	115
Apéndice 10. <i>Croton draco</i> Schltld. (Sangregado).	116
Apéndice 11. <i>Cyathea caracasana</i> (Klotzsch) Domin (Aguaco).....	117
Apéndice 12. <i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq. (Hayuelo).....	118
Apéndice 13. <i>Escallonia paniculata</i> (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult. (Tobo).....	119
Apéndice 14. <i>Ficus caucana</i> Dugand (Higuerón).	120
Apéndice 15. <i>Ficus soatensis</i> Dugand (Uvo).....	121
Apéndice 16. <i>Guazuma</i> sp. (Guácimo blanco).	122
Apéndice 17. <i>Inga</i> sp. (Guamo pequeño).....	123
Apéndice 18. <i>Magnolia espinalii</i> (Lozano) Govaerts (Hojarasco).	124
Apéndice 19. <i>Mauria heterophylla</i> Kunth (Cornecabro).	125
Apéndice 20. <i>Miconia dodecandra</i> Cong. (Morcate).....	126

Apéndice 21. <i>Miconia</i> sp. (Tuno).	127
Apéndice 22. <i>Miconia asperrima</i> Triana. (Melastomataceae).	128
Apéndice 23. <i>Myrcia</i> sp. (Sururo).	129
Apéndice 24. <i>Palicourea</i> sp. (Especie 1).	130
Apéndice 25. <i>Palicourea angustifolia</i> Kunth (Tinto).	131
Apéndice 26. <i>Piper peltatum</i> L. (Cordoncillo).	132
Apéndice 27. <i>Piper</i> sp. (Cordoncillo blanco).	133
Apéndice 28. <i>Pistacia terebinthus</i> L. (Trementino).	134
Apéndice 29. <i>Magnolia</i> sp. (Chicharrón).	135
Apéndice 30. <i>Toxicodendron striatum</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze. (Sarno).	136
Apéndice 31. <i>Triumfetta</i> sp. (Especie 2).	137

RESUMEN

- TITULO:** CARACTERIZACIÓN FLORÍSTICA DEL BOSQUE HÚMEDO MONTANO BAJO EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL (SANTANDER) *
- AUTOR:** MÓNICA PATRICIA PEÑA JAIMES
LORENA RODRÍGUEZ DULCEY **
- PALABRAS CLAVE:** CARACTERIZACIÓN FLORÍSTICA, bh-MB, ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD.

DESCRIPCIÓN:

Identificar la composición florística y fisionómica de la vegetación es significativo en la caracterización del componente vegetal de una región, contribuyendo a conocer la participación de las diferentes formas de vida. El objetivo principal de éste estudio fue la caracterización del bosque húmedo montano bajo (bh-MB) ubicado en el municipio de San Miguel (Santander), entre 1500 a 2900 m.s.n.m, con una extensión de 55.46 km², a través de muestreo aleatorio midiendo el diámetro normal y de copa, y la altura total de los árboles en parcelas circulares a nivel de brinzal, latizal, fustal y fustal grande, muestreando 1465 individuos; para un total de 80 especies, identificando 77 pertenecientes a 40 familias y 57 géneros. Las especies más representativas a lo largo del estudio fueron *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) con un IVI de 55.27%, seguido de *Quercus humboldtii* Bonpl con 48.78%, en cuanto a la estructura vertical la especie con mayor IPS fue *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers con 21.52% como la especie que asegura su lugar en el bosque, aunque no tuvo individuos en el estrato alto, por parte de la RN *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze con 18.49%, es la especie que garantiza la supervivencia en este ecosistema, adicionalmente se midió el IPF en donde las especies de mayor predominio fueron *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers (69.50%) y *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze (62.25%), así mismo se evaluó la biodiversidad, de los cuales los valores medidos demuestran una alta diversidad, baja dominancia, indicando también que la comunidad es equitativa, por lo que este estudio, da una visión del estado actual del bosque húmedo montano bajo en el municipio de San Miguel y la dinámica que están presentando las especies.

* Trabajo de grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Rodríguez Toro, Jorge Andrés. Ingeniero Forestal, Ph.D.

ABSTRACT

TITLE: FLORISTIC CHARACTERIZATION OF THE HUMID FOREST MONTANO BAJO IN THE MUNICIPALITY OF SAN MIGUEL (SANTANDER) *

AUTHOR: MÓNICA PATRICIA PEÑA JAIMES

LORENA RODRÍGUEZ DULCEY **

KEYWORDS: FLORISTIC CHARACTERIZATION, bh-MB, STRUCTURE AND DIVERSITY.

DESCRIPTION:

Identify the floristic and physiognomic composition of the vegetation is significant in the characterization of the plant component of a region, contributing to know the participation of different life forms. The main objective of this study was the characterization of the humid montane low forest (bh-MB) located in the municipality of San Miguel (Santander), between 1500 to 2900 m.s.n.m, with an extension of 55.46 km², through random sampling by measuring the normal and crown diameter, and the total height of the trees in circular plots at the level of the sapling, latizal, fustal and large fustal, sampling 1465 individuals; for a total of 80 species, identifying 77 belonging to 40 families and 57 genera. The most representative species throughout the study were *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) with an IVI of 55.27%, followed by *Quercus humboldtii* Bonpl with 48.78%, in terms of vertical structure the species with the highest IPS was *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers with 21.52% as the species that ensures its place in the forest, although it did not have individuals in the high stratum, on the part of the RN *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze with 18.49% is the species that guarantees Survival in this ecosystem was additionally measured in the IPF where the most prevalent species were *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers (69.50%) and *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze (62.25%), as well as the biodiversity, of which the measured values demonstrate a high diversity, low dominance, also indicating that the community is equitable, so this study, gives a vision of the current state of the low montane rainforest in the municipality of San Miguel and the dynamics that the species are presenting.

* Bachelor Thesis

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Rodríguez Toro, Jorge Andrés. Ingeniero Forestal, Ph.D.

Introducción

Colombia a nivel mundial es uno de los países que cuenta con mayor biodiversidad, la cual se encuentra principalmente albergada en sus montañas (M. Franco, Betancur, y Franco, 2010), asimismo existe un grupo de 14 países catalogados con un alto índice de biodiversidad en el mundo, denominados como países mega diversos, que por su puesto se encuentra Colombia y junto a este Argentina, Bolivia, Brasil, China, Costa Rica, Ecuador, India, Indonesia, Kenia, México, Perú, Sudáfrica y por ultimo Venezuela (Andrade, 2011).

En relación con la topografía colombiana, esta cuenta con características especiales enmarcadas por la cordillera de los Andes, atravesando el territorio colombiano de sur a norte, conformada por tres cadenas montañosas, la cordillera Occidental, Central y Oriental, separadas por los valles de los ríos Magdalena y Cauca. Al contar con este sistema montañoso Colombia cuenta con la ventaja de poseer diferentes pisos térmicos permitiéndole una diversidad biológica (Andrade, 2011). Por otra parte se estima que la región andina alberga una gran parte de la biodiversidad y endemismo a nivel nacional, pero a su vez esta se considera una zona vulnerable por la pérdida de cobertura natural (Cavelier y Etter, 1995). Ya que más del 70% de la cobertura original de los Andes se ha transformado por causa de un sistema económico basado principalmente por la ganadería y la agricultura extensiva, causando problemas ambientales tales como deforestación, erosión de los suelos y contaminación de los ríos (Cortés et al., 2010). Además en esta zona del país no solo se ve afectada por fenómenos económicos sino que el incremento demográfico en los últimos años, junto con la falta de planeación contribuyen a la fragmentación del ecosistema (Medina et al., 2010).

De acuerdo con Botache, Aguilar, y Chaves (2011), los procesos de fragmentación que se dan en estos ecosistemas, están relacionados con la pérdida de hábitat y a su vez se ve una reducción en tamaño y número de fragmentos, adicionalmente al ocasionarse estas reducciones se genera un aislamiento de parches dificultando la conectividad entre los bosques, generando cambios principalmente en las condiciones ambientales y en el incremento del efecto borde.

Considerando que los ecosistemas más vulnerables en Colombia son los bosques andinos, es primordial realizar un manejo sostenible con el fin de evitar la degradación de esta zona (Ávila, Ángel, y López, 2010). Por tanto es importante efectuar procesos de investigación con el fin de conocer el comportamiento de los bosques, en la actualidad se conocen pocos trabajos enfocados al tema de riqueza florística en este tipo de bosques (Galindo, Betancur, y Cadena, 2003).

Según lo expuesto anteriormente el estudio de la caracterización florística es una herramienta útil que permite comparar las comunidades vegetales en cuanto a la riqueza de especies (Begon, Harper, y Townsend, 1999). Los resultados que se deriven al caracterizar el estado y la dinámica del bosque permitirán plantear estrategias de restauración y manejo de los ecosistemas presentes en la zona de estudio, brindando oportunidades a la comunidad de mejorar el nivel de vida a través de los bienes y servicios que ofrece el bosque (Cantillo, Rodríguez, y Avella, 2004).

En este estudio el objetivo principal es realizar la caracterización florística del bosque húmedo montano bajo (bh-MB) del municipio de San Miguel, con el fin de conocer las especies presentes en esta zona y a su vez evaluar el estado de conservación en que se encuentren.

1. Planteamiento del problema

1.1 Definición del problema

El municipio de San Miguel Santander cuenta con una extensión de 71 km², es decir 7100 hectáreas (Alcaldía Municipal de San Miguel, 2004), de las cuales un porcentaje desconocido del bosque ha sido intervenido por la comunidad, con actividades agrícolas que perjudican la sucesión de las especies presentes en el municipio. En la actualidad la falta de interés por parte de la población y de las entidades competentes no ha permitido contar con una base de datos que permitan conocer las respectivas especies nativas, endémicas, introducidas o aquellas que cuentan con algún valor comercial e incluso que se encuentren reportadas con algún grado de amenaza.

Es importante que la comunidad Sanmiguelense tenga conocimiento del tipo de vegetación con la que cuentan para que en un futuro puedan darle una conservación, uso y manejo adecuado, permitiéndole tener un desarrollo sostenible y preservar el medio ambiente. Es así como se ve la necesidad de realizar un muestreo, que permita cuantificar la vegetación presente y tener una visión de la población arbórea que existe en la zona de estudio.

1.2 Antecedentes

La caracterización florística se enfoca en el estudio de las comunidades vegetales (clasificación de la vegetación) para Colombia se ha empleado infinidad de estudios relacionados con este fin,

es así como revisando proyectos y publicaciones a nivel nacional, enfocados en zonas con condiciones similares a la zona objeto de estudio podemos destacar los siguientes proyectos:

A nivel regional para la provincia de García Rovira en el departamento de Santander se presentaron diversos estudios relacionados con la caracterización de especies para algunos de los municipios de esta provincia, tal es el caso del proyecto de grado realizado por Carvajal (2003), denominado “*Caracterización de los ecosistemas de alta montaña en los municipios de Málaga, San José de Miranda y Molagavita en la Provincia de García Rovira, en el Departamento de Santander*”, en el cual se hicieron inspecciones a los principales afloramientos y partes altas de las cuencas que se encuentran influenciados por el ecosistema de alta montaña, se inventario y se evaluó su estado de protección y conservación, en este proyecto se recolecto información directamente con los habitantes de las zonas objeto de estudio, con la realización del proyecto se propone un plan de manejo sostenible que garantiza la recuperación, protección y conservación de los recursos naturales de estos sistemas ecológicos para las provincias de García Rovira en Santander y Gutiérrez en Boyacá.

Así mismo un segundo proyecto enfocado para García Rovira se encuentra el de los autores Anaya y Martínez (2003) desarrollaron el proyecto denominado “*Caracterización de ecosistemas de alta montaña de los municipios de Guaca y San Andrés de la provincia de García Rovira en el departamento de Santander*” este trabajo fue realizado en dos fases, la primera dividida en cuatro etapas metodológicas, empezando con la delimitación tomando como referencia la cota 2600 m.s.n.m; realizando recorridos para reconocimiento y caracterización de los recursos de flora, fauna y componente hídrico y lo relacionado con la caracterización florística, en donde identificaron un gran número de especies, formaciones y asociaciones vegetales sobresaliendo especies de familias como las ASTERACEAES, POLACEAES,

MELASTOMATACEAE y ERICACEAE, al igual las formaciones boscosas con especies como el Roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.), Mano de Oso (*Oreopanax sp.*), entre otros. Se realizó un análisis socioeconómico por la cual se evaluó los impactos que produce las actividades como la agricultura y la ganadería más esencialmente negativos a los recursos naturales y el medio ambiente y así mismo se plantea un plan de manejo para mitigar estos efectos.

Finalmente el proyecto de Gutiérrez y Mora (2003) desarrollaron el trabajo titulado “*Caracterización de los ecosistemas de alta montaña de los municipios de Cerrito y Concepción en el departamento de Santander*” este proyecto fue realizado sobre la cota 2600 m.s.n.m, perteneciente a cuatro zonas de vida en las que se encuentran el páramo subalpino (p-SA), bosque húmedo montano (bh-M), bosque muy húmedo montano (bmh- M) y bosque húmedo montano bajo (bh – MB), la caracterización se realizó teniendo en cuenta componentes como la flora, la fauna, el recurso hídrico, uso del suelo, recurso socioeconómico y potencial del suelo, tuvieron en cuenta la observación directa, información de la comunidad y búsqueda secundaria, a pesar de que se comprobó un gran endemismo en estas zonas la intervención antrópica ha generado la transformación de estos ecosistemas, como conclusión proyectaron la necesidad de implementar un plan de manejo para la eficiente utilización de los recursos naturales existentes.

Por otra parte a nivel municipal en San Miguel (Santander) se realizó un estudio de los ecosistemas presentes en la parte más alta de este municipio, más exactamente a partir de la cota 2600 m.s.n.m, trabajo de grado titulado “*Caracterización de los ecosistemas de alta montaña de los municipios de Carcasí, Enciso, San Miguel y Macaravita, ubicados en la provincia de García Rovira, departamentos de Santander*” desarrollado por García y Sandoval (2003), el objetivo de este trabajo fue determinar el estado en el que se encuentra los ecosistemas de alta

montaña en los cuatro municipios presentes en el proyecto, con la finalidad de proveer información, para investigaciones futuras.

Por ultimo Calderón y Carvajal (2017) realizaron el proyecto denominado “*Análisis de la composición florística y estructural de relictos boscosos ubicados en la finca Pantano Hondo del municipio de San Miguel, Santander, Colombia*” su principal objetivo fue la realización del componente biótico y abiótico relacionado con el bosque de roble, para la obtención de las características florísticas del bosque se efectuó un muestreo aleatorio simple, recolectando la información de los individuos encontrados en las categorías de fustal, latizal y brinzal, tomando en cada una de ellas datos como diámetro, altura y especies; reportándose 15 familias en la categoría de fustal y latizal, entre la más representativa se encuentra la FAGACEAE siendo la mayoría de sus individuos el Roble (*Quercus humboldtii Bonpl.*), por la parte de brinzal se encuentran especies arbustivas, ahora para la evaluación del componente abiótico (suelo, agua y clima), se realizó mediante la toma de muestras, análisis de información secundaria y generación de mapas, la fauna fue cuantificada mediante la ubicación de puntos de monitoreo para la observación de aves, conteo de especies de mamíferos y reptiles.

1.3 Justificación

Considerando la posición geográfica en la que se encuentra Colombia, los ecosistemas boscosos andinos son complejos biológicos más diversos de la tierra, teniendo la capacidad de suplir ciertas necesidades de la sociedad y los diversos grupos silvestres que habitan allí, suministrando frutos, madera, leña, fibra, medicina, regulación del clima y del agua, entre otros, de tal forma son ecosistemas que se consideran como invaluable puesto que son la base de la sostenibilidad de la vida (O. Melo y Vargas, 2003).

Teniendo en cuenta lo anterior, es fundamental tener conocimiento y evaluar cada una de las características y dinámicas del bosque, ya que permiten determinar las diferentes alternativas de utilización, bien sea para producción, conservación o regulación (Gordo, 2009). A pesar de la importancia de dichos bosques la mayoría de estos se les desconoce su uso potencial, adicionalmente el deterioro de estos ecosistemas está influenciado por factores económicos, políticos y sociales (Colombia, 1996).

Para tener conocimiento del estado en el que se encuentra un bosque, es importante conocer las características estructurales de este, las cuales permiten evaluar el estado actual de dicha población vegetal, lo cual es posible por medio de un análisis de composición de especies, en donde se puede observar la relación social que existe entre ellas y tener un cuadro representativo de la estructura de la masa (Acosta, Araujo, y Iturre, 2006).

El presente trabajo, busca realizar una caracterización florística del bosque húmedo montano bajo (bh-MB) en el municipio de San Miguel (Santander), al tener el conocimiento de la flora presente se convierte en un factor importante para el desarrollo de estrategias que conlleven al mejor uso, manejo y conservación del bosque (Medina et al., 2010).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Realizar la caracterización florística del Bosque húmedo Montano bajo en el municipio de San Miguel (Santander).

2.2 Objetivos específicos

- ❖ Establecer la delimitación de la zona objeto de estudio, empleando índices de vegetación y falsos colores por medio de imágenes satelitales Landsat 8.
- ❖ Efectuar un premuestreo y muestreo con el fin de definir los conglomerados necesarios para el desarrollo del proyecto, analizando puntos estratégicos presentes en el bosque húmedo montano bajo (bh-MB) del municipio de San Miguel.
- ❖ Identificar las especies presentes en los diferentes puntos de muestreo, empleando el debido análisis para el reconocimiento de estas.
- ❖ Analizar los respectivos datos obtenidos en este estudio, con el fin de conocer la estructura y composición de la vegetación.

3. Hipótesis

Dado que los ecosistemas boscosos de la zona andina en Colombia poseen gran parte de la biodiversidad y endemismo, *si* dichos ecosistemas son considerados importantes, ya que suplen necesidades básicas a las comunidades, pero a su vez es una zona vulnerable por la pérdida de cobertura vegetal y la fragmentación del bosque, *entonces*, se precisa conocer la estructura y dinámica del bosque que permita entender el estado actual, y el desarrollo acertado de programas de conservación y manejo con base a registros actualizados.

4. Marco referencial

4.1 Marco teórico

Caracterizar la vegetación de los bosques según la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2012), es la comprensión del estado del bosque natural dado en distintas zonas de vida y formaciones ecológicas, la asociación de la composición florística, la estructura y la biodiversidad, al igual que la evolución de los factores bióticos y abióticos del ecosistema en estudio.

Según Louman, Quirós, y Nilsson (2001), la composición florística en los bosques está establecida por factores ambientales como son la posición geográfica, el clima, los suelos y la topografía, y los factores biológicos como la dinámica del bosque y la ecología de sus especies.

Para Cano y Stevenson (2009), la composición florística se entiende como la enumeración de las especies de plantas presentes en un lugar común, teniendo en cuenta su densidad, distribución y biomasa.

Realizar la composición o caracterizar la vegetación constituye el primer paso para el entendimiento de la dinámica y estructura del bosque, parte fundamental para deducir los aspectos ecológicos (Tinoco, Barragán, y Esquivel, 2014). De acuerdo con Lamprecht (1990b), el estudio del análisis estructural del bosque, busca establecer la distribución de los individuos en el espacio que tienen disponibles, así para poder observar cómo y dónde están compitiendo los árboles y los estratos con los que se conforma el bosque. Según Zamora (2010), es importante para el estudio estructural del bosque seleccionar adecuadamente el tamaño de la muestra, que sea un área representativa del sitio a evaluarse. Este análisis se hace con el propósito de evaluar sociológicamente una muestra y establecer su categoría en la asociación, teniendo en cuenta las necesidades de la silvicultura o la sociología vegetal. Para Zamora (2010), Castillo y Calvo (2011), evaluar la distribución espacial del bosque se determina a través de la estructura horizontal y vertical que permite conocer que ingresa, sale o se mantiene en el ecosistema, esto quiere decir el crecimiento o la mortalidad de los individuos y como se distribuyen estas variables.

La estructura horizontal del bosque está determinada por las condiciones de suelo y del clima, las características de las especies que se encuentran en el bosque (Zamora, 2010), esto refleja la distribución de los árboles por clases diamétricas la cual generalmente toma una forma de “J” invertida para el total de las especies (Gutiérrez, García, Rojas, y Castro, 2015), de acuerdo con O. Melo y Vargas (2003), permite evaluar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie del bosque esta estructura se valora a través de índices que expresan la

ocurrencia de las especies, así como la forma en que se encuentran ordenados los diferentes elementos constitutivos del bosque, en relación con el área donde se encuentran, lo mismo que su importancia ecológica dentro del ecosistema, como se puede determinar con los cálculos de *frecuencia* el cual se entiende como la posibilidad de encontrar un árbol de una determinada especie, al menos una vez en una unidad de muestreo, *abundancia* que es el número de individuos que posee una especie en una área determinada y *dominancia* que se relaciona con el grado de cobertura de las especies como manifestación del espacio ocupado por ellas.

Según Gordo (2009), la suma relativa de las frecuencias, abundancias y dominancias las genera el índice de valor de importancia (IVI), el cual fue formulado por Curtis y Mc Intosh en 1951, de tal manera que permite comparar el peso ecológico de cada especie dentro del bosque. En esta estructura se calcula también el cociente de mezcla (CM), el cual es el indicador de la homogeneidad y la heterogeneidad del bosque, este permite tener una idea general de la forma como se distribuyen los individuos de las diferentes especies dentro del bosque.

Valerio y Salas (1998), definen la estructura vertical como la distribución de los individuos en el perfil del bosque, que es la respuesta de las características de las especies que conforman el bosque y de las condiciones micro climáticas que varían al moverse de arriba abajo del perfil, así mismo mencionan que los rangos de mayor importancia que determinan el microclima son la temperatura, humedad relativa, vientos, radiación, evapotranspiración y la concentración de CO₂, usualmente se realiza el perfil por estratos clasificados como estrato superior, estrato medio y estrato inferior (Valerio y Salas, 1998), o según otros autores estrato arbóreo, estrato arbustivo y estrato herbáceo (Zamora, 2010), estos estratos pueden ser dominados por una o varias especies dependiendo la variedad de temperamentos que presenten las especies. Según Valerio y Salas

(1998), la estructura vertical se refiere al tamaño y cobertura de la copa de cada estrato dentro de la comunidad.

Como lo menciona Hernández y Quesada (2000), conforme se asciende en el perfil el número de especies e individuos por unidad de área disminuye y las características físicas como forma y posición de copa tienden a mejorar paulatinamente y además permiten junto con el desarrollo vertical realizar una caracterización adecuada del bosque.

De acuerdo con Marrugan (1988); el índice de biodiversidad se compone de dos elementos, variedad o riqueza y abundancia relativa de especies, su expresión se logra mediante el registro del número de especies, la descripción de la abundancia relativa o mediante el uso de una medida que combine los dos componentes. La riqueza está definida según Zamora (2010), como el número de cualquier tamaño y forma de vida que tipifican una localidad, región o parcela, la riqueza florística es evaluada por medio de la curva área – especie, que proporciona información sobre el incremento de especies en superficies graduales, considerando un diámetro mínimo, la curva suministra datos con el fin de determinar en qué superficies no existe un incremento significativo de especies nuevas. Gaines, Harrod, y Lehmkuhl (1999), afirman que el índice de biodiversidad es un parámetro estadístico obtenido de la información de la riqueza de especies y la abundancia de los individuos presentes en el ecosistema; según Baca (2000), la diversidad florística está descrita en la distribución de los individuos, entre el total de especies presentes y es un indicador de intensidad de mezcla del rodal, depende del límite y la referencia del área, esta diversidad es evaluada por medio del cociente de mezcla.

También se habla de diversidad biológica que según Molina y Farinós (2012), Whittaker (1972), es donde se relacionan la *diversidad alfa*, que es la diversidad dentro del hábitat o diversidad intracomunitaria, asimismo es la riqueza de especies de una comunidad específica,

considerada homogénea, esta expresión según Moreno (2001) y Villareal et al. (2004), está limitada en el conjunto de especies que cohabitan en un área homogénea del paisaje, es decir especies que se encuentran a nivel local. Esta diversidad emplea los índices estimados en la figura 1, los cuales miden el bosque con la finalidad de tener un conocimiento amplio de las especies vegetales presentes en el área de estudio.



Figura 1. Clasificación de los métodos para medir la diversidad alfa. Adaptado de Moreno Claudia (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza España: M&T–Manuales y Tesis SEA. Cooperación Iberoamericana CYTED, Recuperado de <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>

4.2 Marco conceptual

A continuación, se presenta la definición de algunos conceptos que permiten una mejor interpretación del presente estudio.

Bosque húmedo montano bajo (bh-MB): Zona de vida cuyas características climáticas son: Precipitación entre 1000 a 2000 mm y comprende una temperatura entre 12°C y 18°C (Holdridge, 1966).

Diámetro a la altura del pecho (dap): diámetro del árbol medido con corteza a una altura de 1,30 metros (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2004).

Diversidad de especies: comunidad ecológica conformada por un determinado número de especies, de las cuales cada una de estas tiene un cierto grado de importancia dentro de la comunidad (Moreno, 2001).

Sistema de información geográfica (SIG): sistema de Hardware, software y procedimientos, los cuales están diseñados para la capturar, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados en el espacio (Carmona y Monsalve, 2004).

Combinación en color natural RGB 432: es la más próxima a la percepción del ojo humano, ya que tiene la apariencia del color real de las coberturas, las bandas dan respuesta a la luz que ha penetrado más profundamente, lo cual permite discriminar aguas poco profundas, corrientes, zonas con sedimentos, entre otros; de la tal forma el color azul oscuro representa aguas profundas, azul claro aguas con media profundidad, aguas turbias de color verde amarillo, las tonalidades amarillentas y plateadas representan el suelo desnudo y la vegetación tiende a tonalidades verdes (L. Melo y Camacho, 2005).

Composición de falso color 452: esta combinación permite observar la vegetación vigorosa de un color verde intenso y entre verde-negro la vegetación arbolada muy densa, el color violeta representa espectralmente las zonas urbanas, las zonas cubiertas por agua se observaban de color negro y las zonas de suelo desnudo dependiendo del contenido de la humedad están representadas por colores de rosado a rojo (L. Melo y Camacho, 2005).

Composición de falso color 564: permite ver la vegetación con colores marrones, verdes y naranjas, destacando las áreas del bosque, generalmente es utilizado para análisis de humedad en la vegetación, el agua se ve de color azul intenso (L. Melo y Camacho, 2005).

Composición de falso color 654: esta combinación es de uso especial para el análisis de la vegetación, resaltando la vegetación con un color verde intenso (R. Franco, 2017).

4.3 Marco legal

En relación al marco político - jurídico y la caracterización florística y diversidad de especies, se presenta a continuación la normatividad legal que aplica para el proyecto.

Constitución Política de Colombia. Expedida el 4 de julio de 1991, con respecto al medio ambiente establece que por obligación se debe proteger las diferentes riquezas naturales y culturales de la nación, así mismo atender la salud y el saneamiento ambiental. De igual manera se establece la protección de la diversidad e integridades ambientales, por medio de la planificación de manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución, de prevención y control de los factores de deterioro ambiental. Lo anterior se evidencia en los artículos 58, 79 y 333 de la Constitución Política de Colombia (Colombia, 1991).

Ley 2da de 1959. Por la cual se dictan normas sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables (Colombia, 1959).

Decreto-Ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente (Colombia, 1974).

Documento CONPES 2834 de 1996. Propone lograr un uso sostenible de los bosques con el fin de conservarlos, consolidar la incorporación del sector forestal en la economía nacional y mejorar la calidad de vida de la población (Colombia, 1996).

Ley 99 de 1993. Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones (Colombia, 1993).

Ley 1021 de 2006. Por la cual se expide la Ley General Forestal (Colombia, 2006).

5. Métodos

Para realizar la caracterización florística de la zona de vida bosque húmedo montano bajo del municipio de San Miguel (Santander), se definió que este proyecto es de carácter descriptivo y cuantitativo por lo cual se basa en recolección de información primaria y secundaria tales como: consultas de internet, el esquema de ordenamiento territorial (EOT) del municipio de San Miguel, citas bibliográficas, entre otros que permitan el desarrollo exitoso del proyecto. Para dar cumplimiento con los objetivos planteados, se definieron una serie de fases, las cuales se pueden apreciar en la figura 2:

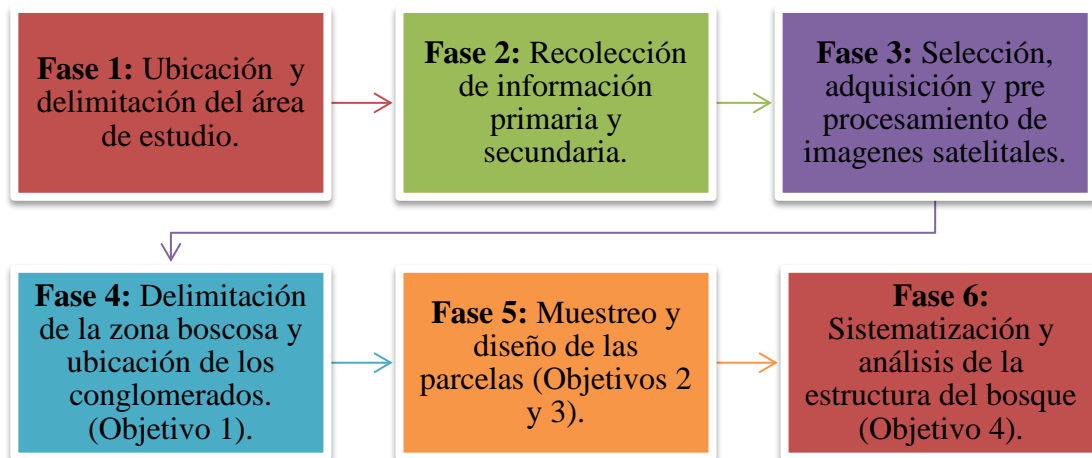


Figura 2. Metodología para el desarrollo del proyecto.

5.1 Fase 1: Ubicación y delimitación del área de estudio.

Para realizar esta primera fase se descargan los shape oficiales de la zona de estudio, a través del sitio web Sistema de Información Geográfico para la Planeación y el Ordenamiento Territorial (SIG-OT). Adicionalmente se consulta la zona de vida obtenida con el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, en donde se puede corroborar los datos obtenidos.

5.2 Fase 2: Recolección de información primaria y secundaria.

Esta segunda etapa comprende la recolección de información secundaria que se consultó en el esquema de ordenamiento territorial del municipio (Alcaldía Municipal de San Miguel, 2004), así como libros, artículos científicos y páginas web.

Ahora la información primaria se obtuvo por medio de una socialización realizada con los presidentes de las juntas de acción comunal de las veredas del municipio con el fin de informar

acerca de la investigación que se llevaría a cabo en la zona e indagar las especies que predominan en el municipio y con la recolección de datos florísticos mediante los diferentes levantamientos en campo (Apéndice 1, 2, 3, 4).

5.3 Fase 3: Selección, adquisición y pre-procesamiento de imágenes satelitales.

5.3.1 Selección de imágenes satelitales. En esta fase los criterios a tener en cuenta para la selección de las imágenes satelitales a utilizar en el proyecto son los siguientes:

- ❖ Proximidad temporal de la imagen satelital: entre los años 2015 y 2017.
- ❖ Cubrimiento del área de estudio: 100%.
- ❖ Índice de nubosidad: el porcentaje de nubosidad en lo posible no mayor al 15%.
- ❖ Plataforma: Landsat 8 OLI-TIRS.

5.3.2 Adquisición de imágenes satelitales. Para la adquisición de las imágenes lo primero que se identificó fue el Path y Row de la zona, que para este caso corresponde al número 7-55, siendo así en el sitio web del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS United States Geological Survey) a través de la plataforma Earth Explorer, fue descargada una imagen satelital del año 2016 que cumplía con los criterios de selección anteriormente nombrados.

5.3.3 Pre procesamiento de la imagen satelital. El pre procesamiento de la imagen satelital que se obtuvo para el desarrollo de proyecto se realizó por medio del Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), complemento gratis de código abierto para Qgis que permite la clasificación semi-automática de imágenes de sensores remotos, de manera supervisada (Congedo, 2016). El SCP cuenta con un variado menú como se observa en la figura 3, entre ellas

se encuentra la herramienta de pre procesamiento, esta pestaña permite la conversión de imágenes Landsat 1, 2 y 3 MSS, y Landsat 4, 5, 6, 7 y 8.

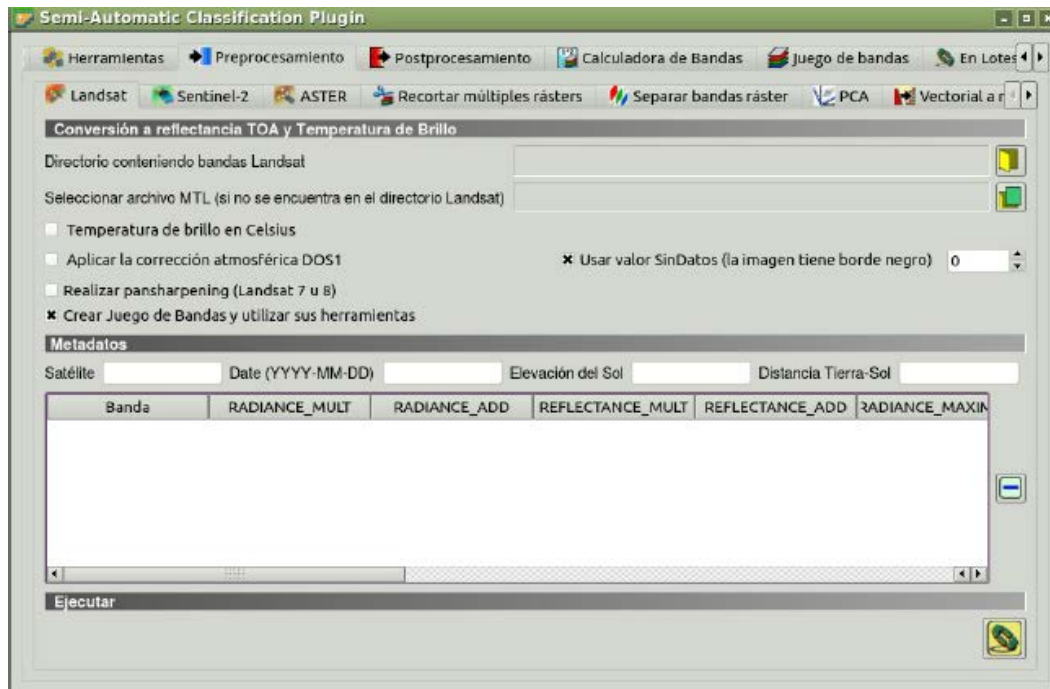


Figura 3. Interfaz de la herramienta Semi-Automatic Classification Plugin (SPC). Adaptado de Congedo, Luca (2016). Semi-automatic classification plugin documentation. *Release 6.0.1.1*, 4(0.1), 29. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

Para este proyecto se realiza la corrección atmosférica de la imagen usando el método DOS1 (Dark Object Substracción 1) o la substracción de objetos oscuros. Básicamente este método de corrección asume valores más bajos de la reflectancia de cada banda para todos los pixeles de la escena, lo que tiende a valores próximos a cero en áreas de agua limpia, profunda y calma, diferenciando los valores teóricos con los almacenados en el sensor (Picone y Linares, 2014).

Finalmente con la misma herramienta SPC al realizar la corrección atmosférica de las bandas de la imagen, se procede a utilizar la pestaña llamada recortar múltiples rásters como se observa en la figura 4, la cual permite recortar al mismo tiempo varias bandas de imágenes, usando el

polígono del área de estudio el cual tiene definido las correspondientes coordenadas y se encuentra en un archivo shape.

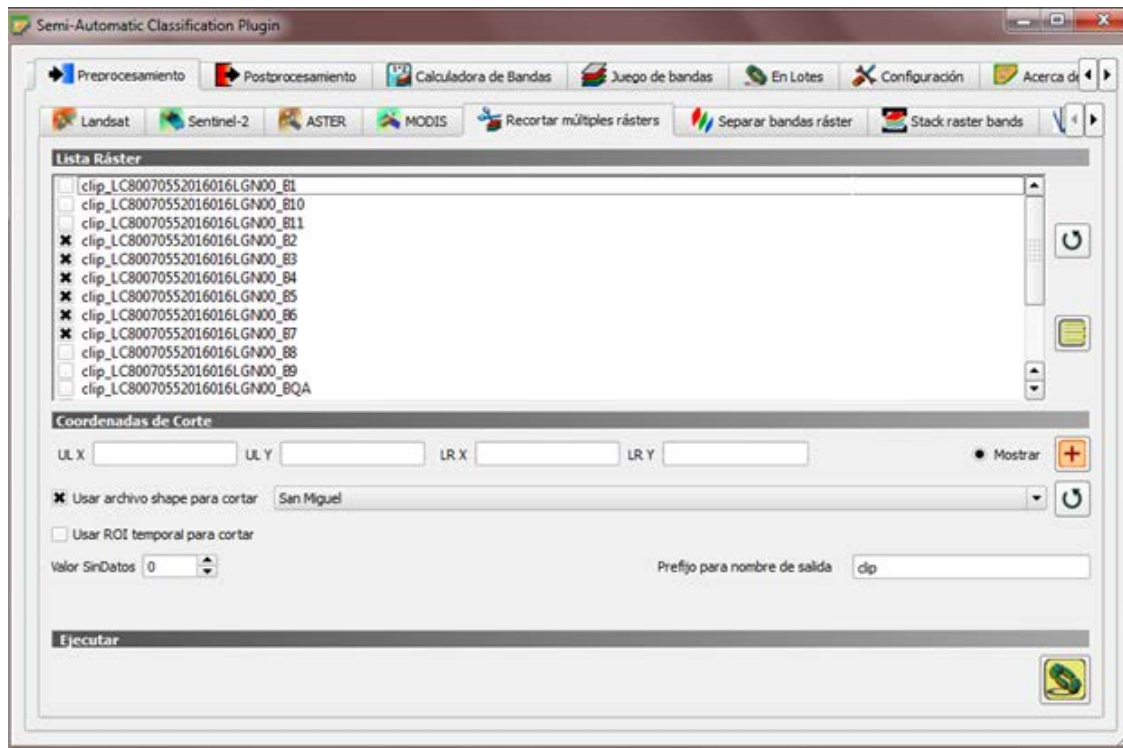


Figura 4. Interfaz de la herramienta de recorte de múltiples rásters.

5.4 Fase 4: Delimitación de la zona boscosa y ubicación de los conglomerados.

La delimitación de la zona boscosa que se encuentra en la zona de estudio, se realizó a través de un análisis visual de imágenes satelitales Landsat 8, por medio de la combinación de falsos colores, en donde se emplea tres bandas del sensor, las cuales coinciden con la capacidad de los monitores que se emplean al realizar esta operación informática, dichos monitores poseen tres cañones RGB (Rojo-Verde-Azul, por sus siglas en ingles Red-Green-Blue); al combinar estos colores básicos se tiene la posibilidad de enviar una banda del sensor en cada uno de los cañones,

dando como resultado diferentes colores y tonos, que permiten la interpretación visual de las imágenes (L. Melo y Camacho, 2005). Para este proyecto se analizará la combinación de falsos colores 452, 564, 654 y la composición en color natural 432.

Adicionalmente se realiza un análisis de índices de vegetación, estas son medidas cuantitativas basadas en valores digitales que tienden a medir la biomasa o vigor vegetal, Díaz (2015) y Esperanza y Zerda (2002), afirman “los índices de vegetación son transformaciones que involucran una combinación matemática, entre los niveles digitales acumulados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen” (p.4). Como lo indica Von Bennewitz y Cazanga (2012), cuando se efectúa un índice de vegetación lo que se busca es la combinación de valores de reflectancia con diferentes longitudes de onda, con alta sensibilidad a los cambios en la vegetación y baja sensibilidad a factores como el suelo, la atmósfera entre otras.

Por lo anterior, se ejecutará tres índices de vegetación descritos a continuación, que permiten identificar la vegetación presente en la superficie y caracteriza su distribución:

5.4.1 Índice de Vegetación Normalizado (NDVI). Como lo indica la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (2016), este índice permite identificar la presencia de vegetación en un área determinada y de cierta forma caracteriza su distribución espacial. Para calcularse este índice se aplica la ecuación 1, cabe resaltar que este índice minimiza efectos topográficos de tal forma la escala va de -1 a 1, en donde los valores negativos representan superficies sin vegetación.

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde; *NDVI* = Índice de vegetación normalizado; *NIR* = Banda espectral número cinco - infrarrojo cercano; *R* = Banda espectral número cuatro - rojo.

5.4.2 Índice de Vegetación Mejorado (EVI). Para Comisión Nacional de Actividades Espaciales (2016) el índice de vegetación mejorado, se incorpora una serie de coeficientes los cuales permiten realizar una corrección al índice normalizado, permitiendo así la reducción de diversos ruidos producto de la interferencia entre la atmosfera, el canopeo y la saturación. Lo anterior se determina aplicando la ecuación 2.

$$EVI = G * \frac{NIR-R}{NIR+C1*R-C2*B+L} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde; *EVI* = Índice de vegetación mejorado; *B* = Banda espectral número tres – verde; *NIR* = Banda espectral número cinco - infrarrojo cercano; *R* = Banda espectral número cuatro – rojo; *B* = Banda espectral número dos – azul; *L* = Valor para realizar un ajuste relacionado al canopeo, el cual es de uno; *C1* = Coeficiente de resistencia de la atmosfera, con un valor de seis; *C2* = Coeficiente de resistencia de la atmosfera, con un valor de 7.5.

5.4.3 Índice Tasseled Cap Greenness (TCG). She et al. (2015), indican que para éste tipo de estudios existen dos métodos de cálculo: computación geométrica de bandas y transformación de bandas, esta última utilizada para el cálculo de índice TCG, con el fin de cumplir con el cometido anterior se emplea la ecuación 3.

$$TCG = -0.2939 \times B - 0.2491 \times G - 0.5482 \times R + 0.7185 \times NIR \\ + 0.0707 \times SWIR1 - 0.1729 \times SWIR2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde; *TCG* = Índice Tasseled Cap Greenness; *B* = Banda espectral número dos – azul; *G* = Banda espectral número tres – verde; *R* = Banda espectral número cuatro – rojo;

NIR = Banda espectral número cinco - infrarrojo cercano; *SWIR1* = Banda espectral número seis; *SWIR2* = Banda espectral número siete.

De tal forma teniendo en cuenta los tres anteriores índices se procede a realizar la ubicación de los conglomerados de manera aleatoria por medio del software libre QGIS versión 2.18.12 con GRASS versión 7.2.1, teniendo presente que estos no se encuentren en zonas con poca o nula presencia de vegetación.

5.5 Fase 5: Muestreo y diseño de las parcelas.

Para la caracterización florística del bh-MB se realizó un inventario y toma de datos en campo; respectivamente en los conglomerados ubicados anteriormente, empleando una adaptación a la metodología del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible y el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), para la cual cada unidad de muestreo está planteada de forma circular organizadas de tal manera que se puedan medir cuatro categorías de tamaño descritas a continuación:

- ❖ Brinzales (B): individuos con dap menor a 2.5 cm y con una altura mayor o igual a 0.3 m. La medición de esta categoría se realizó a una distancia de 7.5 m y a 45° del centro de la subparcela principal, finalmente la subparcelas de brinzales será de un radio de 1.5 m.

- ❖ Latizales (L): individuos que se encuentran en un rango de dap mayor o igual de 2.5 cm hasta 10 cm. La medición de esta categoría se realizó en una circunferencia con un radio de 3 m medida desde el centro de la subparcela principal.

- ❖ Fustales (F): individuos que se encuentran en un rango de dap mayor o igual a 10 cm hasta 30 cm. La medición de esta categoría se realizó en una circunferencia con un radio de 7 m

medida desde el centro de la subparcela principal.

❖ Fustales grandes (FG): individuos que tiene un dap mayor a 30 cm y se tiene en cuenta los individuos que se encuentran dentro de la circunferencia de un radio de 15 m, es decir la subparcela principal.

Lo anterior se puede observar en la figura 5, en donde se encuentra el ejemplo de una subparcela y la forma de división de esta para la medición de las cuatro categorías de tamaño (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

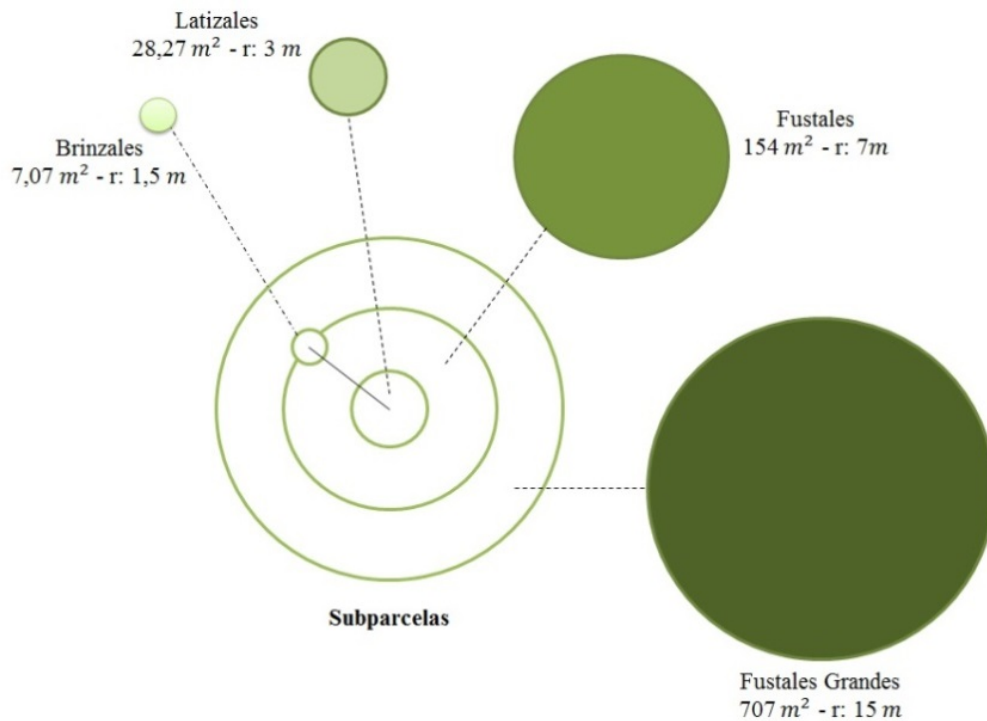


Figura 5. Configuración de la subparcela. Adaptado del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) Manual de Campo Inventario Forestal Nacional Colombia Versión 3.0. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestal-nacional>

Al tener los resultados del muestreo se procedió a calcular el tamaño de la muestra, para ello se tuvo en cuenta un error de muestreo del 15% y una probabilidad del 90%, lo anterior se determina utilizando la ecuación 4 (Rojas, Suárez, Guauque, y Otavo, 2002).

$$n = \frac{t^2 * CV^2}{E^2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde; n = Tamaño de la muestra; t = Valor a tabular (Tabla t Student); CV = Coeficiente de variación equivalente a las áreas basales de las subparcelas; E = Error de muestreo del 15%.

5.6 Fase 6: Sistematización y análisis de la estructura del bosque.

Para la realización de esta fase, una vez obtenida las diferentes variables en la zona de estudio, consideradas necesarias para el desarrollo del proyecto, se procede a la organización de estos, con el fin de conseguir un orden y así poder realizar el análisis de los datos.

5.6.1 Clasificación de especies. Para cada uno de los arboles encontrados en las subparcelas se reconoció el nombre común, se les midió el dap, altura total y el diámetro de copas, para las especies que no se reconocían en campo se colectó una muestra botánica y se realizó un registro fotográfico de esta (véase a partir del apéndice F). La clasificación taxonómica de las especies se llevó a cabo por medio de información secundaria obtenida por el herbario virtual de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la plataforma de nombre comunes de las plantas de Colombia de la Universidad Nacional de Colombia, el Catálogo de la biodiversidad de Colombia, el catálogo de plantas y líquenes de Colombia de la Universidad Nacional de Colombia, el herbario del jardín botánico de Bogotá José Celestino Mutis, los libros Productos forestales no maderables de Corpochivor, Árboles de la montaña de Antioquia, Propagación y

conservación de especies arbóreas nativas y con la ayuda de la Ingeniera Sandra Milena Díaz López y el Ingeniero Herwin Ramiro Roa Caicedo docentes de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga.

5.6.2 Composición florística. Así como Lamprecht (1990b), menciona que la composición de especies se modifica sensiblemente de un sitio a otro en cortas distancias, también afirma que la composición florística es la presentación de una lista numerada de las especies con nombres comunes, nombres científicos y familias; de esta manera es la recopilación de todas las especies encontradas.

5.6.3 Estructura Horizontal.

5.6.3.1 Índice de Valor de Importancia. Este índice hace referencia a la importancia fitosociológica de una especie dentro del bosque en el cual se realiza el estudio. Se determina mediante la ecuación 5 (Lozada, 2010).

$$IVI = Ar\% + Fr\% + Dr\% \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde; *IVI* = Índice de valor de importancia; *Ar* = Abundancia relativa; *Fr* = Frecuencia relativa; *Dr* = Dominancia relativa.

❖ **Abundancia.** Hace referencia al número total de árboles de una especie que se encuentran en cada una de las unidades de muestreo respecto al total de individuos inventariados. Se tiene dos tipos de abundancias, la abundancia absoluta es el total de individuos de una especie, se determina empleando la ecuación 6 y la abundancia relativa es la representación porcentual de

cada una de las especies con respecto al número total de árboles inventariados; como lo indica la ecuación 7 (Lamprecht, 1990b).

$$Aa = N_{Ai} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde; Aa = Abundancia absoluta; N_{Ai} = Número total de individuos de una especie.

$$Ar = \frac{N_{Ai}}{N_a} \times 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde; Ar = Abundancia relativa; N_{Ai} = Número total de individuos de una especie; N_a = Número total de individuos inventariados.

❖ **Frecuencia.** Parámetro que indica la presencia o ausencia de una especie en determinada subparcela y a su vez permite tener una primera aproximación acerca de la homogeneidad o heterogeneidad del bosque, de tal forma la frecuencia absoluta indica el número de subparcelas en las que aparece una especie con relación al número total de subparcelas inventariadas y expresada en porcentaje; determinada por la ecuación 8, ahora la frecuencia relativa hace referencia a la frecuencia absoluta de una especie sobre la sumatoria de las frecuencias absolutas de todas las especies tal como lo indica la ecuación 9 (Lamprecht, 1990b).

$$Fa = \frac{N_{pi}}{N_p} \times 100 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde; Fa = Frecuencia absoluta; N_{pi} = Número total de parcelas en donde se encuentran una especie; N_p = Número total de subparcelas.

$$Fr = \frac{Fa}{\sum Fa} \times 100 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde; Fr = Frecuencia relativa; Fa = Frecuencia absoluta de una especie; $\sum Fa$ = Sumatoria de las frecuencias absolutas de todas las especies inventariadas.

❖ **Dominancia.** Representa el grado de cobertura en el que se encuentra una especie dentro del espacio que ocupa en el bosque, donde se realiza el respectivo estudio. La dominancia absoluta corresponde a la sumatoria de las áreas basales de cada individuo perteneciente a una especie, expresada en m^2 , determinada por la ecuación 10 y la dominancia relativa es el porcentaje de una especie en relación con la sumatoria de las áreas basales de todos los individuos inventariados, como se indica en la ecuación 11 (Lamprecht, 1990b).

$$Da = \sum Ai \quad (\text{Ecuación 10})$$

Dónde; Da = Dominancia absoluta de una especie; $\sum Ai$ = Sumatoria de las áreas basales de una especie.

$$Dr = \frac{Da}{\sum Da} \times 100 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Dónde; Dr = Dominancia relativa; Da = Dominancia absoluta de una especie; $\sum Da$ = Sumatoria de las dominancias absolutas de todas las especies inventariadas.

5.6.3.2 Cociente de Mezcla. Es el índice más sencillo de calcular y proporciona una idea de la intensidad de mezcla del bosque, así como una primera aproximación de la heterogeneidad de este, cuando el coeficiente de mezcla se acerca a uno indica que es más heterogéneo y viceversa son homogéneos (Lamprecht, 1990a), para lo anterior se aplica la ecuación 12.

$$CM = \frac{S}{N} \times 100 \quad (\text{Ecuación 12})$$

Dónde; CM = Coeficiente de mezcla; S = Número total de especies en el muestreo; N = Número total de individuos en el muestreo.

5.6.4 Estructura Vertical.

5.6.4.1 Índice de Posición Sociológica. Es el índice que advierte sobre la composición florística de los distintos substratos de la vegetación y del aporte de las distintas especies en cada uno de ellos. Los substratos son fragmentos de la masa hallados en los determinados límites de altura, fijados por un criterio, usualmente se distinguen los estratos superior, medio e inferior (Finol, 1971), así mismo afirma Finol (1971) que “una especie tiene su lugar asegurado en la estructura y composición del bosque cuando se encuentra representada en todos los substratos. Por el contrario, será dudosa su presencia en la etapa climácica si se encuentran solamente en el substrato superior o superior y/o medio, a excepción de aquellas que por sus características propias no pasan del piso inferior”.

De acuerdo a Finol (1971), se asignó un valor fitosociológico a cada substrato, la cual se obtiene de dividir el número de individuos en el substrato por el número total de individuos de todas las especies, tal como se observa en la ecuación 13.

$$VF = \frac{n}{N} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Dónde; VF = Valor fitosociológico del substrato; n = Número de individuos del substrato; N = Número total de individuos de todas las especies.

Las especies que tienen una posición sociológica regular son las que muestran en el piso inferior un número de individuos mayor o igual a la de los pisos siguientes.

Calcular el valor absoluto de la posición sociológica de una especie, se deben sumar los valores fitosociológicos en cada substrato como se muestra en la ecuación 14, la cual se obtiene

del producto del valor fitosociológico en cada sustrato y el número de individuos de cada especie en el estrato.

$$PSa = VF(i) * n(i) + VF(m) * n(m) + VF(s) * n(s) \quad (\text{Ecuación 14})$$

Dónde; PSa = Posición sociológica absoluta; VF = Valor fitosociológico del sustrato; n = Número de individuos de cada especie; i : inferior; m : medio; s : superior.

Para el desarrollo de este trabajo la altura es determinada por la altura total del dosel, de tal forma se diferencia tres estratos, estrato bajo con alturas < 8 m, estrato intermedio con alturas ≥ 8 m y < 15 m y estrato alto con alturas ≥ 15 m (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2014). Por lo anterior en la ecuación 14 se tendría que el estrato inferior es equivalente al estrato bajo, el estrato medio al estrato intermedio y el estrato superior al estrato alto.

La posición sociológica relativa de cada especie, es el porcentaje sobre la sumatoria total de los valores absolutos, así como se muestra en la ecuación 15.

$$PSr = \frac{PSa}{\sum PSa} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Dónde; PSr = Posición sociológica relativa; PSa = Posición sociológica absoluta.

5.6.4.2 Regeneración Natural. Según Finol (1971) permite evaluar las condiciones en que se encuentra la regeneración natural de las especies presentes en el área, para este caso se consideran los descendientes de plantas arbóreas que se encontraron con alturas desde 0.3 metros en adelante según Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) y hasta 2.5 cm de dap. La regeneración natural es la garantía de supervivencia de un ecosistema forestal (Finol, 1971).

Para Acosta et al. (2006), la determinación de los límites para las diferentes clases de altura, así como el número de clases, puede responder a criterios distintos según las características del bosque que se estudia. Esta distribución en clases de altura puede utilizarse para obtener un índice analítico denominado Categoría de Tamaño, este se determina en forma semejante a la posición sociológica, dándole un valor fitosociológico a cada categoría como lo muestra ecuación 16.

$$VFrn(j) = \frac{N_j}{N} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Dónde; $VFrn(j)$ = Valor fitosociológico de la categoría de tamaño j ; N_j = Número total de individuos de la categoría de tamaño j ; N = Número total de individuos de la regeneración natural.

Para calcular la Categoría de Tamaño absoluta de la Regeneración Natural, se utiliza la ecuación 17.

$$CTaRN = VFrn(i) * n(i) + VFrn(m) * n(m) + VFrn(s) * n(s) \quad (\text{Ecuación 17})$$

Dónde; $CTaRN$ = Categoría de tamaño absoluta de la regeneración natural; $VFrn$ = Valor fitosociológico de la categoría de tamaño; n = Número de individuos de la categoría de tamaño de regeneración natural; i : inferior o clase I; m : medio o clase II; s : superior o clase III.

En este caso también se utilizara la altura es determinada por la altura total del dosel, de tal forma se diferencia tres estratos, estrato bajo con alturas < 8 m, estrato intermedio con alturas ≥ 8 m y < 15 m y estrato alto con alturas ≥ 15 m (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2014). Por lo anterior en la ecuación 17 se tendría que el estrato inferior es

equivalente al estrato bajo, el estrato medio al estrato intermedio y el estrato superior al estrato alto.

El valor relativo de la Clase de Tamaño de la Regeneración Natural (CTrRN) se calcula con la ecuación 18.

$$CTrRN = \frac{CTaRN}{\sum CTaRN} \times 100 \quad (\text{Ecuación 18})$$

Dónde; *CTrRN* = Categoría de tamaño relativa de la regeneración natural; *CTaRN* = Categoría de tamaño absoluta de la regeneración natural.

La abundancia y la frecuencia de la regeneración natural, se calculan de la misma forma que para el estrato arbóreo.

- ❖ *Abundancia Absoluta de la Regeneración Natural*, se calcula según la ecuación 19.

$$AaRNi = \frac{\text{Nº de plántulas de la especie } i}{Ha} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Dónde; *AaRNi* = Abundancia absoluta de la regeneración natural.

- ❖ *Abundancia Relativa de la Regeneración Natural*, es el porcentaje de la abundancia absoluta de cada especie.

- ❖ *Frecuencia Absoluta de la Regeneración Natural*, se calcula según la ecuación 20.

$$FaRNi = \frac{Ni}{Nt} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Dónde; *FaRNi* = Frecuencia absoluta de la regeneración natural de la especie *i*; *Ni* = Número de subparcelas en que está presente la especie *i*; *Nt* = Número total de parcelas.

- ❖ *Frecuencia Relativa de la Regeneración Natural*, se determina con relación a la suma de las frecuencias absolutas de la subparcela, tal como se muestra en la ecuación 21.

$$FrRNi = \frac{FaRNi}{\sum FaRNi} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Dónde; $FrRNi$ = Frecuencia relativa de la regeneración natural de la especie i ;
 $FaRNi$ = Frecuencia absoluta de la regeneración natural de la especie i .

La *Regeneración Natural Relativa (RNr)* para cada especie se obtiene por la media aritmética de los valores mencionados (Abundancia, Frecuencia y Categoría de Tamaño) utilizando la ecuación 22.

$$RNr = \frac{ArRN + FrRN + CTrRN}{3} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Dónde; RNr = regeneración natural relativa; $ArRN$ = abundancia relativa de la regeneración natural; $FrRN$ = frecuencia relativa de la regeneración natural; $CTrRN$ = categoría de tamaño relativa de la regeneración natural.

5.6.4.3 Índice de Valor de Importancia Ampliado. El índice de valor de importancia (IVI), considera solo la estructura horizontal y no expresa la heterogeneidad e irregularidad que puede existir entre los estratos. Para complementar los análisis de la estructura horizontal y vertical, se cuantifica para cada especie un nuevo índice, denominado índice de valor de importancia ampliado (IVIA) que reúne los parámetros descriptivos de la estructura horizontal, vertical y de la regeneración natural. De esta manera la importancia fitosociológica de cada especie queda mejor explicada (Acosta et al., 2006), como se expresa en la ecuación 23.

$$IVIA = \text{Estruct. horizontal} + \text{Estruct. vertical} + \text{Estruct. de Regeneración Natural}$$

(Ecuación 23)

Cuya expresión se enuncia en la ecuación 24.

$$IVIA = Ar + Dr + Fr + PSr + RNr \quad (\text{Ecuación 24})$$

En la cual la abundancia relativa (Ar), dominancia relativa (Dr) y frecuencia relativa (Fr) definen el IVI , por lo que la expresión se resume en la ecuación 25.

$$IVIA = IVI + PSr + RNr \quad (\text{Ecuación 25})$$

Dónde; $IVIA$ = Índice de valor de importancia ampliado; IVI = Índice de valor de importancia; PSr = Posición sociológica relativa; RNr = Regeneración natural relativa.

5.6.4.4 Índice de Importancia Ampliado. Para Lozada, Costa, y Soriano (2008) indican que el índice de valor de importancia ampliado tiene como finalidad evaluar las especies arbóreas, y que de cierta forma requería de una simplificación en donde se tuviera en cuenta especies herbáceas y trepadoras, por lo cual propone el índice de importancia ampliado (IIA), que se calcula empleando la ecuación 26.

$$IIA = Ar\% + Fr\% + Dr\% + As\% + Fs\% \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde; IIA = Índice de importancia ampliado; $Ar\%$ = Abundancia de individuos mayores a 10 cm dap; $Fr\%$ = Frecuencia de individuos mayores a 10 cm dap; $Dr\%$ = Dominancia de la categoría de fusta grande y fustal; $As\%$ = Abundancia relativa de la categoría de latizal y brinzal; $Fs\%$ = Frecuencia relativa de la categoría de latizal y brinzal.

5.6.4.5 Índices de Predominio Fisionómico. Permite identificar las especies dominantes, teniendo en cuenta los valores del área basal, cobertura y densidad. Este índice se aplica para cada

uno de los estratos presentes en el levantamiento (Rangel, Lowy, y Aguilar, 1997). Por lo cual se aplica la ecuación 27.

$$IPF = \text{Área basal relativa} + \text{Cobertura relativa} + \text{densidad relativa}$$

(Ecuación 27)

Dónde; *IPF* = Índice de predominio fisionómico; *Área basal relativa* = (área basal de la especie/ área basal total) * 100, expresado en porcentaje; *Cobertura relativa* = (Cobertura de la especie/Cobertura total de las especies que conforman el estrato) * 100, expresado en porcentaje; *Densidad relativa* = (Número de individuos de la especie/ Número total de los individuos) * 100, expresado en porcentaje.

5.6.5 Diversidad alfa.

5.6.5.1 Índices de Riqueza Específica. Es un método basado con el número de especies presentes en la comunidad (Moreno, 2001), es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, dependiendo del tamaño de la muestra, los índices propuestos para medir la riqueza específica son:

5.6.5.1.1 Índice de Riqueza de Especies. Esta referido al número total de especies.

5.6.5.1.2 Índice de Margalef. Para Margalef (1974), es una medida utilizada en ecología para evaluar la biodiversidad de una comunidad vegetativa, con base en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies, en función del número de individuos existentes en la muestra analizada.

El índice de Margalef fue propuesto por el biólogo y ecólogo catalán Ramón Margalef, que como lo indica Margalef valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja diversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad (Margalef, 1974), para el cálculo de este se utiliza la ecuación 28.

$$Dmg = \frac{S-1}{\ln(N)} \quad (\text{Ecuación 28})$$

Dónde; Dmg = Índice de Margalef; S = Número de especies; N = Número total de individuos.

5.6.5.1.3 *Índice de Menhinick*. Al igual que el índice de Margalef, se basa en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta a medida que se amplía el tamaño de la muestra (Campo y Duval, 2014), como se muestra en la ecuación 29.

$$Dmn = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Dónde; Dmn = Índice de diversidad de Menhinick; S = Número de especies; n = Número total de individuos observados.

5.6.5.2 *Medición de la Estructura*

5.6.5.2.1 *Índices de Abundancia Proporcional*. Según Peet (1974), clasificó los índices de abundancia en índices de equidad, los cuales toman en cuenta el valor de importancia de cada especie, e índices de heterogeneidad, los cuales además de lo anterior consideran también el

número total de especies en la comunidad; pero como fin práctico resulta mejor clasificarlo en los índices de dominancia y equidad.

5.6.5.2.1.1 Índices de Dominancia. Estos “son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad, tomando en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies” (Moreno, 2001), (p41).

5.6.5.2.1.1.1 Índice de Simpson. Villareal et al. (2004) y Moreno (2001), mencionan que este índice indica la probabilidad de que dos individuos sacados al azar de una muestra pertenezcan a una misma especie, este índice está basado en la heterogeneidad de las especies más comunes presentes en el ecosistema de estudio, tiene una ventaja ante el índice de Shannon ya que su significado biológico es más claro, presente en la ecuación 30. A medida que el valor del índice de Simpson se incrementa, la diversidad decrece por lo que es necesario calcular el complemento del índice de Simpson ($1-\lambda$ (Heterogeneidad)), asegurando de esta manera que el valor del índice aumenta con el incremento de la diversidad, se realiza mediante la ecuación 31.

$$\lambda = \sum \left(\frac{n(n-1)}{N(N-1)} \right) \quad (\text{Ecuación 30})$$

Dónde; λ = Índice de diversidad de Simpson; n = Número de individuos de la especie i ;
 N = Número total de individuos.

$$1 - \lambda \text{ (Heterogeneidad)} = 1 - \sum p_i^2 \quad (\text{Ecuación 31})$$

Dónde; p_i = Igual a $\sum \left(\frac{n(n-1)}{N(N-1)} \right)$, correspondiendo n = Número de individuos de la especie i ;
 N = Número total de individuos.

5.6.5.1.1.1.1 *Índice de Berger – Parker*. Estima la dominancia dentro de una comunidad, varía en 0 y 1 en cuanto más se acerca a 1 significa que mayor es la dominancia y menor la diversidad (Marrugan, 1988) y (Orellana, 2009).

La diversidad biológica según Whittaker (1972), Gómez y Silva (2016), mencionan al igual la *diversidad beta* o diversidad entre diferentes hábitats, que se define como el cambio de composición de especies a lo largo de gradientes ambientales, es la medida de grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades de un paisaje. Representado en la ecuación 32.

$$d = \frac{N_{\max}}{N} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Dónde; d = Índice de Berger – Parker; N_{\max} = Número de individuos en la especie más abundante; N = Total de individuos muestreados.

5.6.5.1.1.2 *Índices de Equidad*. Son algunos de los índices más reconocidos sobre diversidad los cuales se basan en el concepto de equidad (Moreno, 2001).

5.6.5.1.1.2.1 *Índice de Shannon – Wiener*. Muestra la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra, para Moreno (2001); este índice se fundamenta en la presunción de que los individuos se provienen de un muestreo al azar y asume que todas las especies están representadas en la muestra, el valor de este índice según Ramón Margalef oscila entre los valores de 1.5 a 3.5 y solo de manera extraordinaria llega a un valor de 4.5, este índice se basa en la teoría de la información, es decir, en la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema, para Marrugan (1988) y Orellana (2009), el índice

contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia), como se muestra en la ecuación 33.

$$H' = - \sum p_i * \ln (p_i) \quad (\text{Ecuación 33})$$

Dónde; H' = Índice de Shannon-Wiener; P_i = Proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total (n_i/N).

5.6.5.2.1.2.2 *Índice de Pielou*. Este índice se expresa como el grado de uniformidad en la distribución de individuos entre especies (Moreno, 2001), su valor oscila entre 0 a 1 donde este último indica que todas las especies son igualmente abundantes, por lo cual Marrugan (1988) demuestra que este mide la diversidad observada con relación a la máxima esperada, se mide con la siguiente ecuación 34.

$$J' = \frac{H'}{H'_{\text{máx}}} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Dónde; J' = Índice diversidad de Pielou; H' = Diversidad observada en una comunidad; H'_{max} = Diversidad máxima posible de una comunidad.

El H'_{max} se calcula con la ecuación 35.

$$H'_{\text{máx}} = \ln (S) \quad (\text{Ecuación 35})$$

Dónde; $\ln (S)$ = Logaritmo natural de (especie).

5.6.6 Estado de conservación de las especies

Para las especies encontradas en el bosque se revisará a nivel mundial y nacional el estado de conservación en el que se encuentra cada una de estas. La revisión a nivel mundial se hace a través de la lista de especies CITES (Convención sobre el comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), siendo esta la lista oficial de especies en donde se tiene tres apéndices, apéndice I en donde se encuentran las especies en peligro de extinción, apéndice II se encuentran especies que no necesariamente se encuentran en peligro de extinción y apéndice III se encuentran especies que están protegidas al menos en un país (Inskipp y Gillett, 2003).

A nivel nacional se consulta el libro rojo de plantas de Colombia, el cual el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), realizó con el fin de categorizar 34 especies de plantas en el territorio colombiano, cuya única característica compartida es estar amenazadas por la explotación maderera. Las categorías asignadas a cada especie fueron adoptadas por las presentes en la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), la cual cuenta con 11 categorías: extinto (EX), extinto en estado silvestre (EW), extinto a nivel regional (RE), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazado (NT), preocupación menor (LC), datos insuficientes (DD), no aplicable (NA) y no evaluado (NE) (López y Salinas, 2007).

6. Resultados y Discusión

6.1 Localización del área de estudio

El municipio de San Miguel se localiza en el extremo sureste de la provincia de García Rovira, departamento de Santander, colindando al norte con los municipios de Enciso y Carcasí, al este con Carcasí, al sur con Macaravita y Capitanejo y al oeste con Capitanejo. El municipio cuenta con una extensión de 71 km², las cuales se encuentran divididas en diez veredas: Arenales, Cenacuta, Lajas, Llano grande, Pamplonita, San Ignacio, San Pedro, Santa Helena, Tablón y Zaragoza; su rango altitudinal se encuentra entre las 1200 a 3350 m.s.n.m (Alcaldía Municipal de San Miguel, 2004).

La identificación de la zona de vida bh-MB del municipio se hizo a través de una consulta y descarga del correspondiente shape de la zonificación climática de Colombia obtenida por medio del sitio web Sistemas de Información Geográfico para la Planeación y el Ordenamiento Territorial (SIG-OT), la cual fue procesada a través del software libre QGIS versión 2.18.12 con GRASS versión 7.2.1, tal como se muestra en la figura 6. Siendo así el área de estudio abarca una extensión de 55.46 km² entre un rango altitudinal de 1500 a 2900 m.s.n.m, esta área cuenta con una temperatura mínima de 12°C y máxima de 18°C y una precipitación entre 1.001 a 2.000 mm/año.

6.2 Delimitación de la zona boscosa

La delimitación de la zona boscosa que se encuentra en el área de estudio se determinó utilizando imágenes Landsat 8, bajo una composición en color natural 432 (figura 7), composición de falsos colores 452 (figura 8), composición de falsos colores 564 (figura 9) y composición de falsos colores 654 (figura 10), dando como resultado un área boscosa de 810,43 ha, distribuidos en las veredas de la siguiente manera: Arenal 42,14 ha, Cenacuta 16,03 ha, Lajas 298,16 ha, Llano Grande 24,03 ha, Pamplonita 20,72 ha, San Ignacio 139,65 ha, San Pedro 119,95 ha, Santa Helena 135,39 ha, Tablón 11,09 ha, Zaragoza 3,27 ha. Por lo anterior la vereda que cuenta con mayor extensión es la vereda Lajas con un 36.79% y la vereda Zaragoza es quien tiene menos bosque ya que cuenta con un 0.40% del área boscosa.

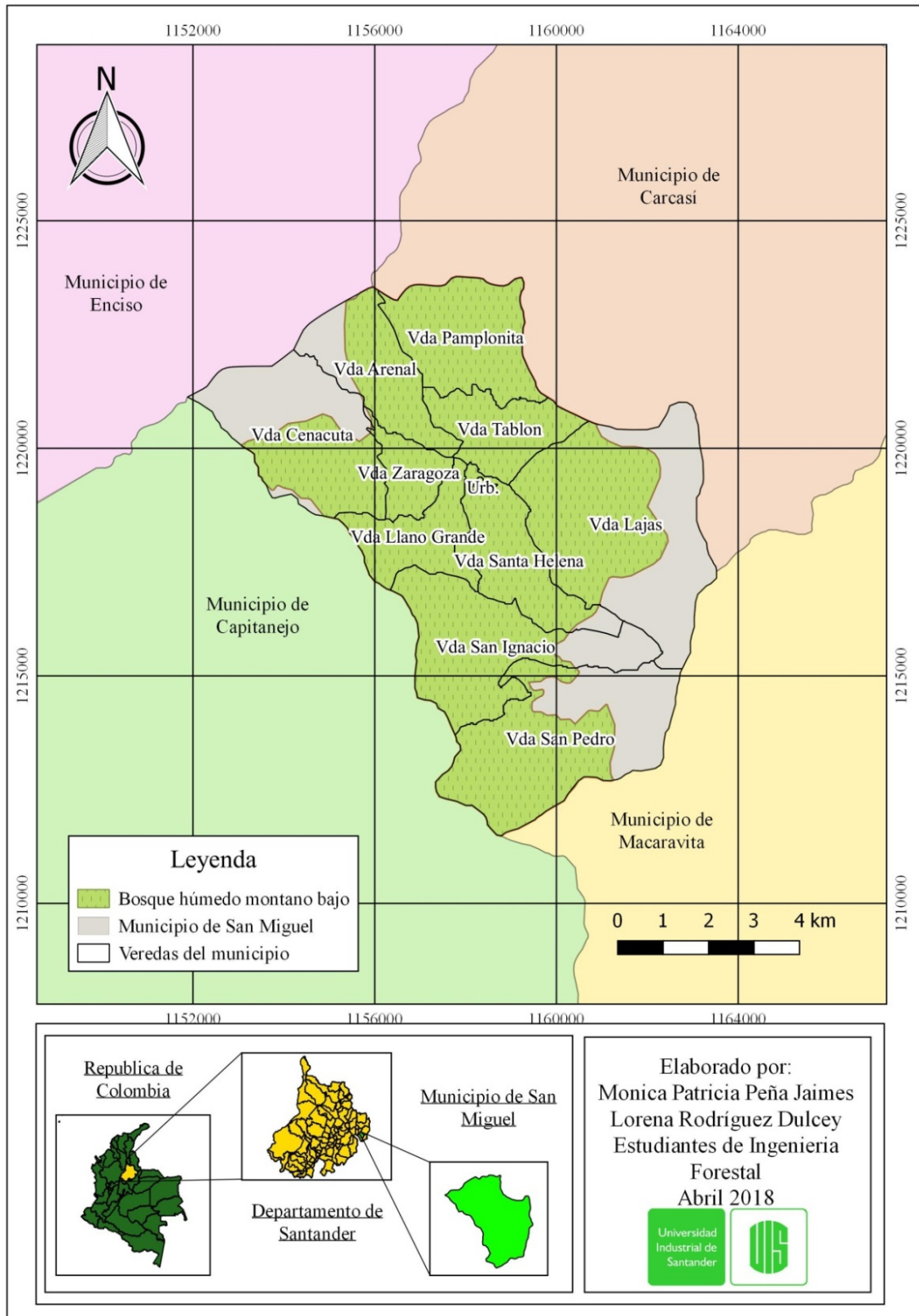


Figura 6. Zona de vida: bosque húmedo montano del municipio de San Miguel Santander.

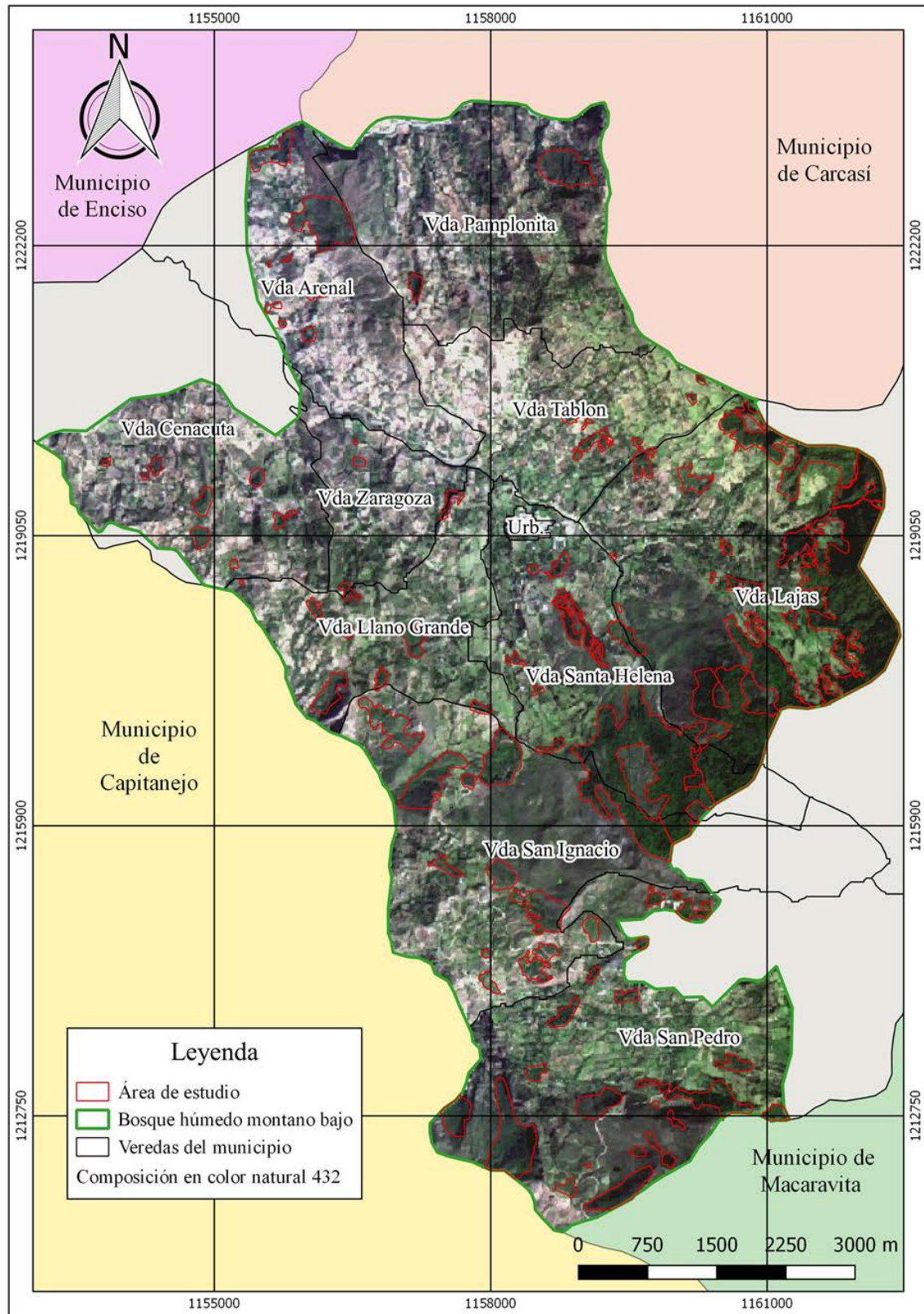


Figura 7. Delimitación del bosque, perteneciente a la zona de vida bh-MB del municipio de San Miguel, utilizando la combinación de color natural 432.

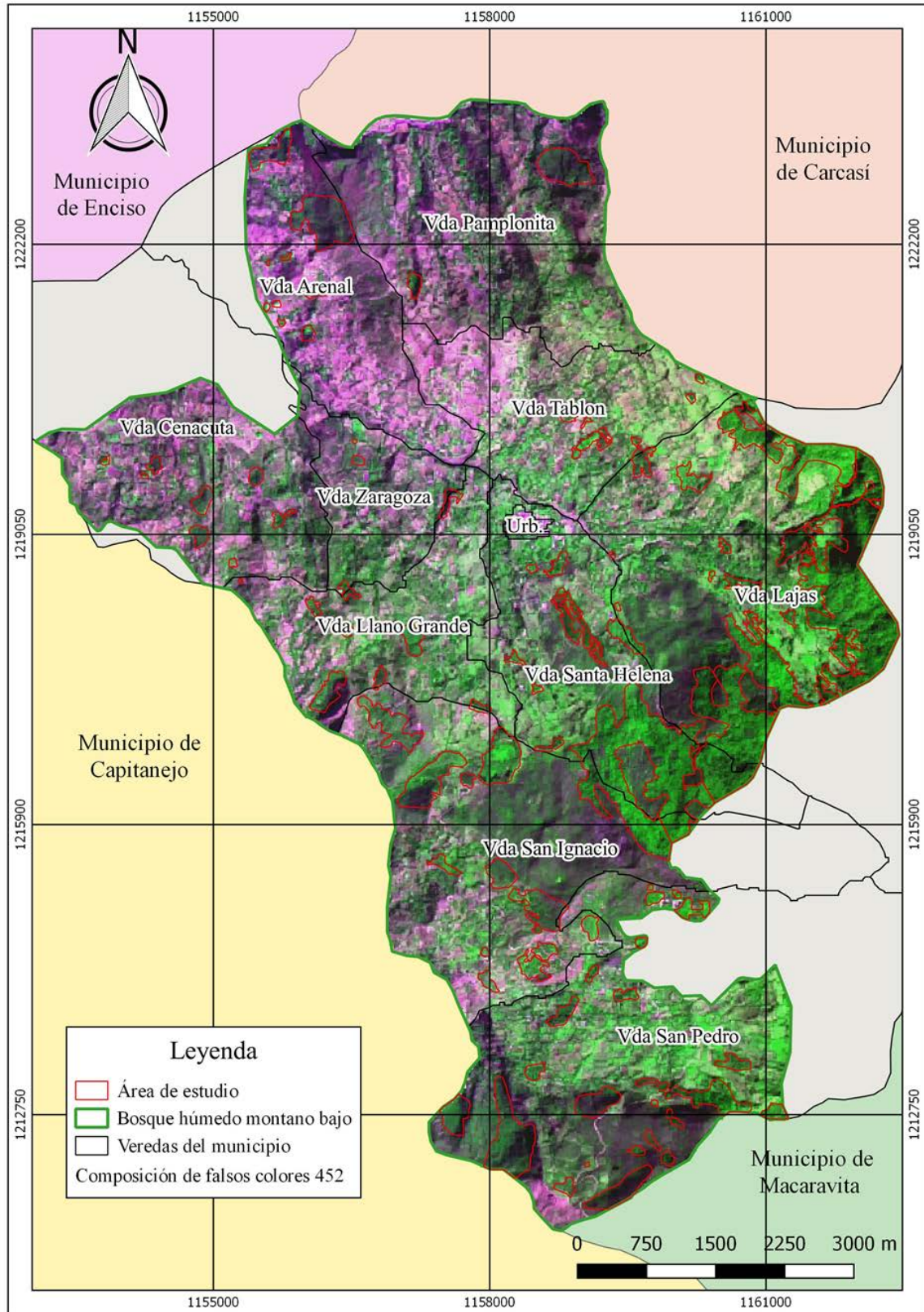


Figura 8. Delimitación del bosque, perteneciente a la zona de vida bh-MB del municipio de San Miguel, utilizando la combinación de falso color 452.

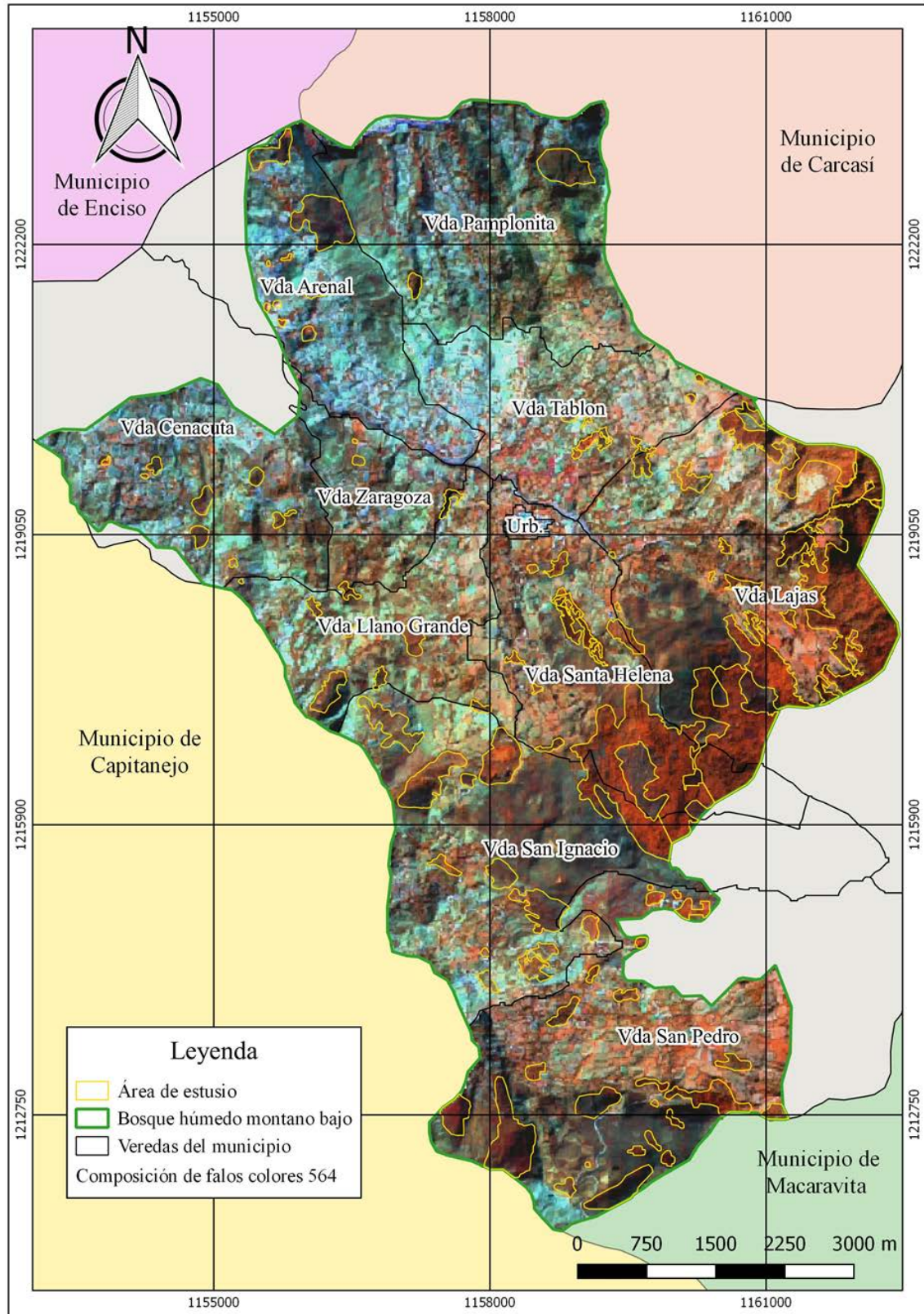


Figura 9. Delimitación del bosque, perteneciente a la zona de vida bh-MB del municipio de San Miguel, utilizando la combinación de falso color 564.

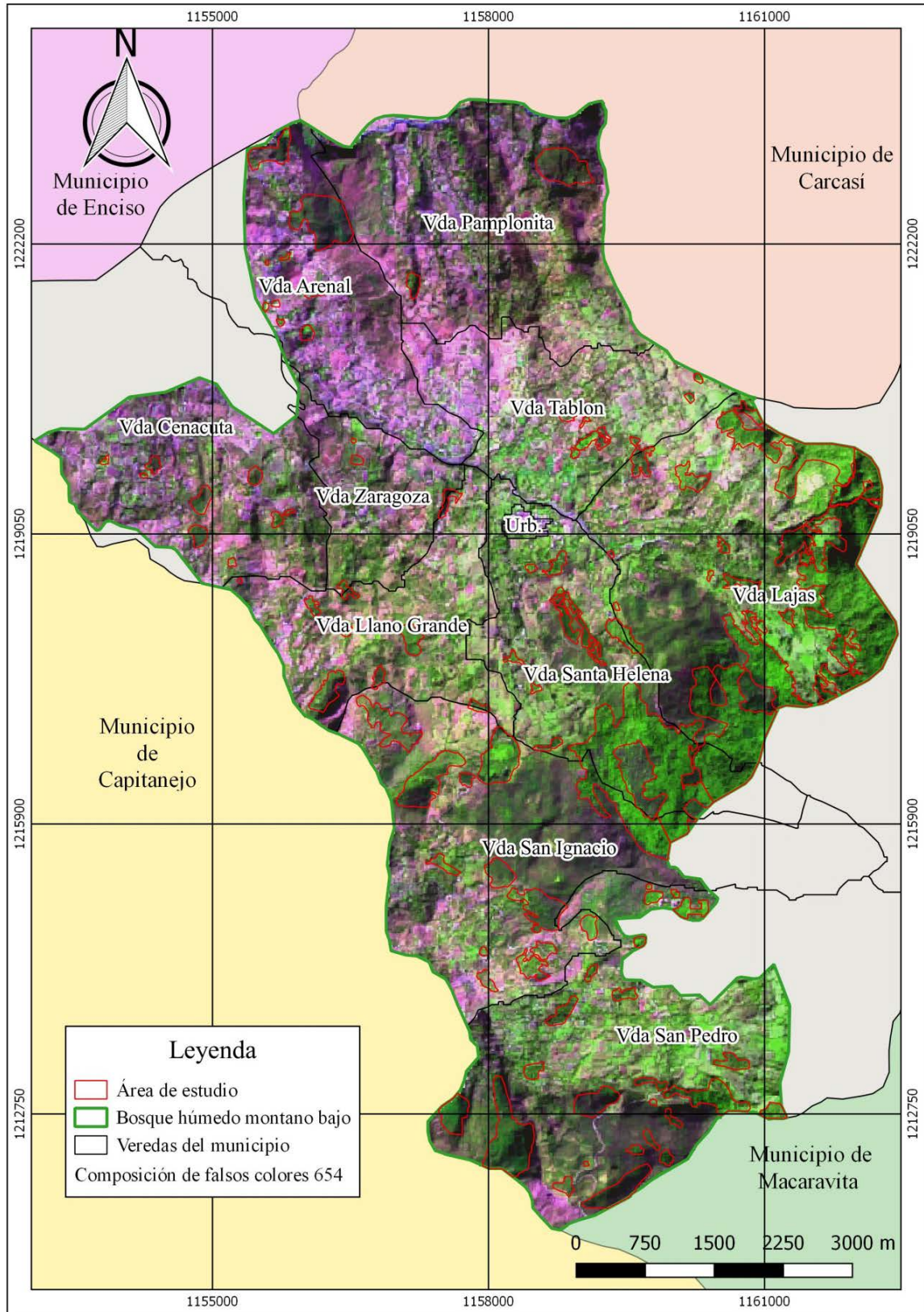


Figura 10. Delimitación del bosque, perteneciente a la zona de vida bh-MB del municipio de San Miguel, utilizando la combinación de falso color 654.

6.3 Ubicación de los conglomerados

Al tener la zona de bosque identificada se procede a realizar un análisis de índices de vegetación que permiten identificar la vegetación presente en la zona, utilizando los índices de vegetación:

- 1) NDVI: para el área de estudio se tiene valores que oscilan entre 0.541 y 0.85 por lo tanto las zonas con mayor superficie de vegetación se encuentran en las veredas Lajas, Llano Grande, San Ignacio, San Pedro, Santa Helena y Tablón (figura 11).
- 2) EVI: al evaluar este índice se tienen valores que oscilan entre 0.0602 y 0.227, siendo así la zona de superficie de vegetación que se encuentra de igual manera en las veredas anteriormente nombradas en el NDVI pero con una disminución en el área boscosa (figura 12).
- 3) TCG: siendo este índice el más estricto y más completo al momento de analizar la vegetación presente en una zona, para la zona de estudio se tiene valores que oscilan entre 0.0365 y 0.208, presentando una mayor vigorosidad vegetal en las veredas Lajas, Llano Grande, San Ignacio, San Pedro, Santa Helena y Tablón, por lo cual el área de vegetación presente en esta área es mínimo a comparación de los dos anteriores índices (figura 13).

6.4 Muestreo

Se premuestreo un total de 28 conglomerados, es decir 48 subparcelas, distribuidos al azar en el bh-MB (figura 14), en donde un conglomerado se encuentra en la vereda Cenacuta, nueve conglomerados para la vereda Lajas, tres conglomerados para la vereda Llano grande, cuatro conglomerados para la vereda San Ignacio, cinco conglomerados para la vereda San Pedro, dos conglomerados para la vereda Santa Helena, dos conglomerados para el Tablón y dos

conglomerados para la vereda Zaragoza. En las veredas Arenal y Pamplonita no se encuentra ningún conglomerado.

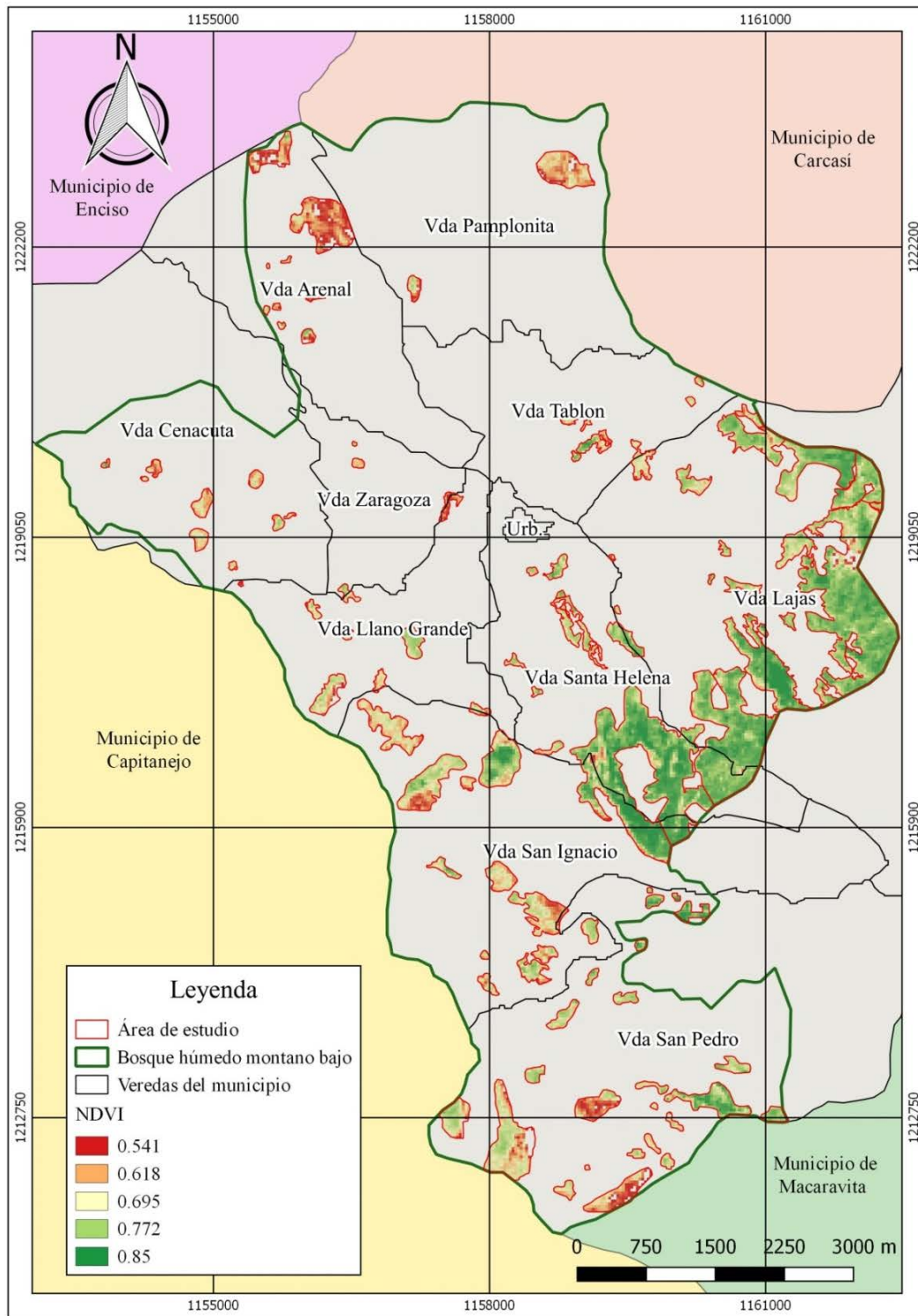


Figura 11. Índice de vegetación normalizado (NDVI) en el área de bosque.

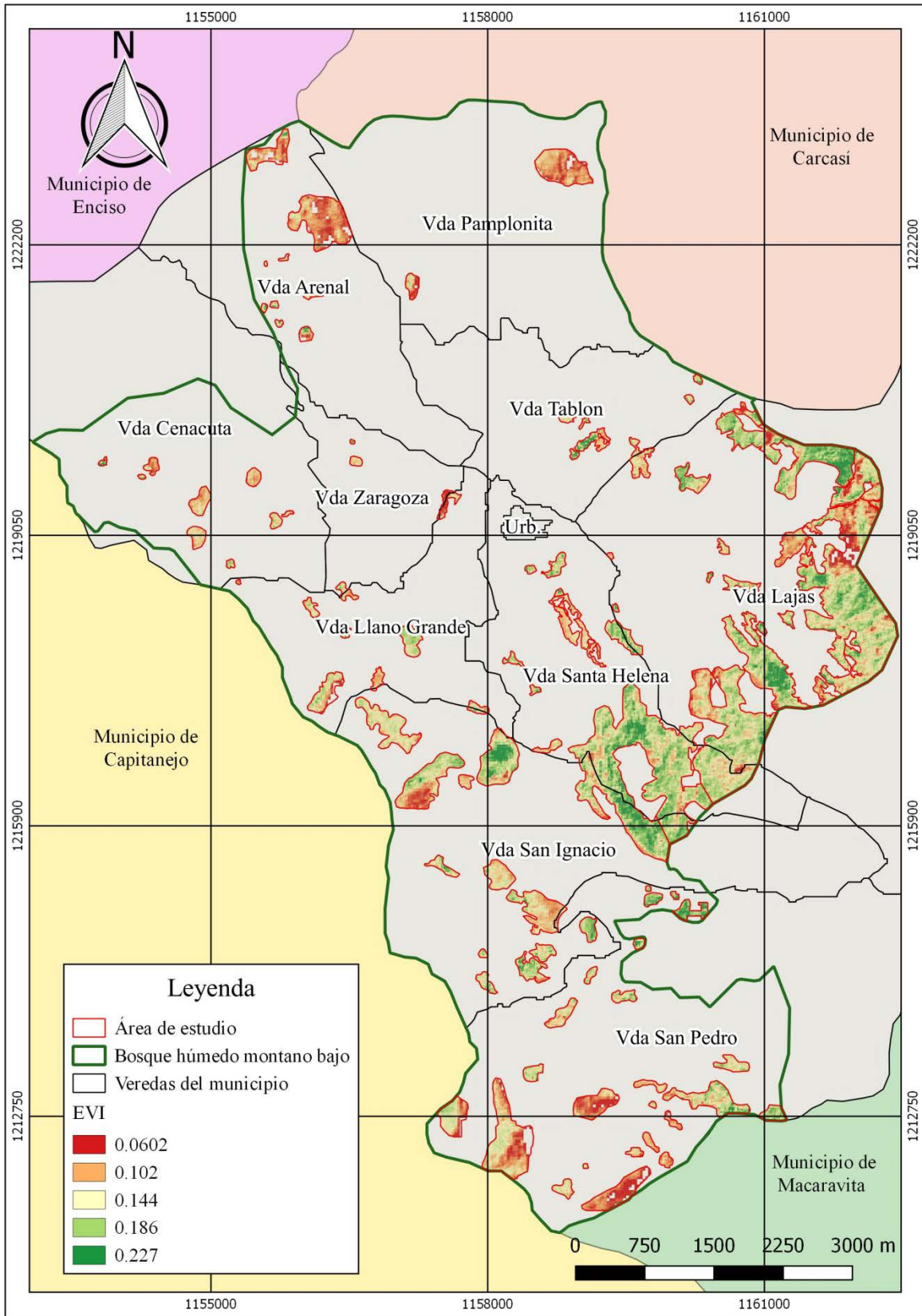


Figura 12. Índice de vegetación mejorado (EVI) en el área de bosque.

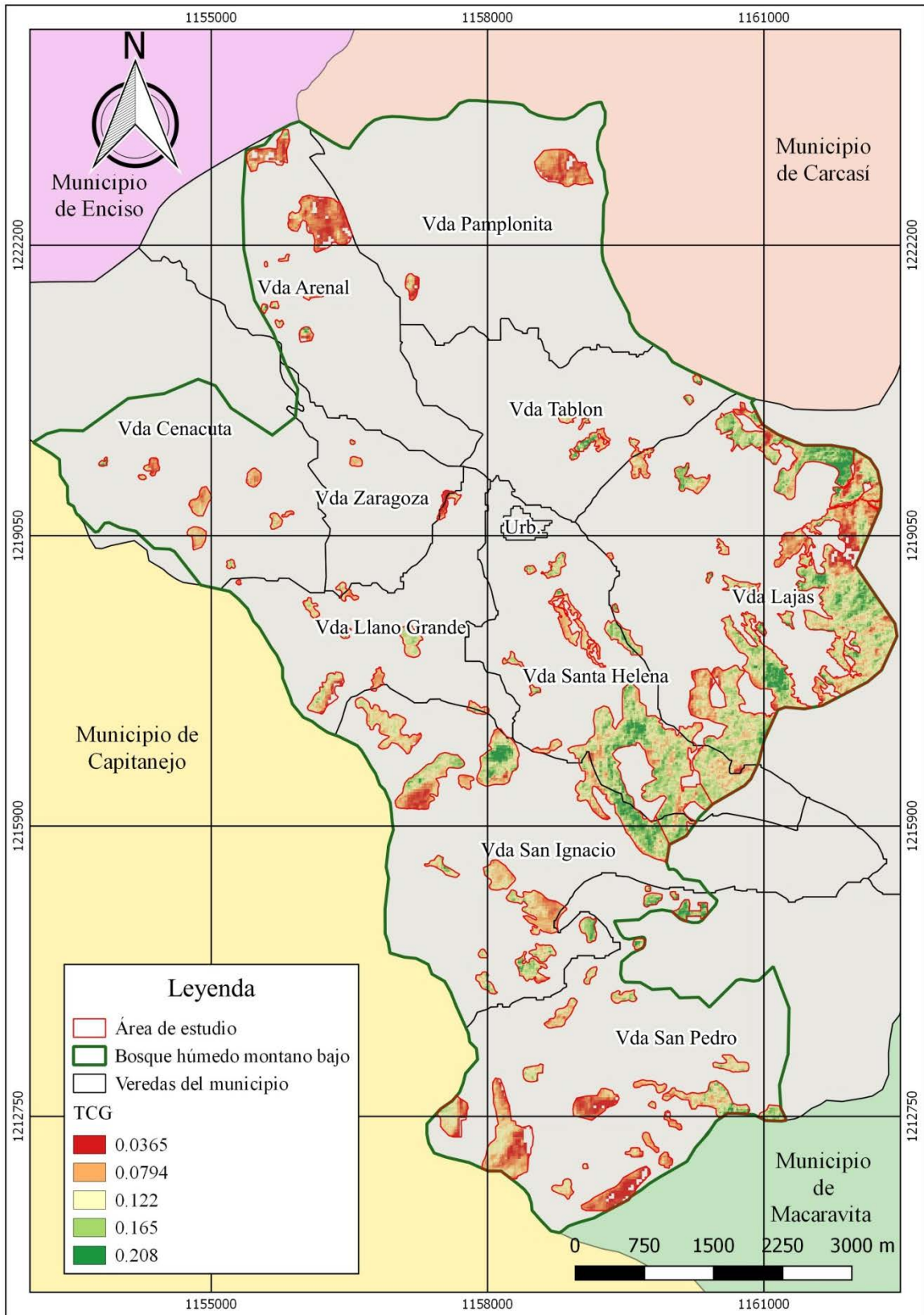


Figura 13. Índice de vegetación Tasseled Cap Greenness (TCG) en el área de bosque.

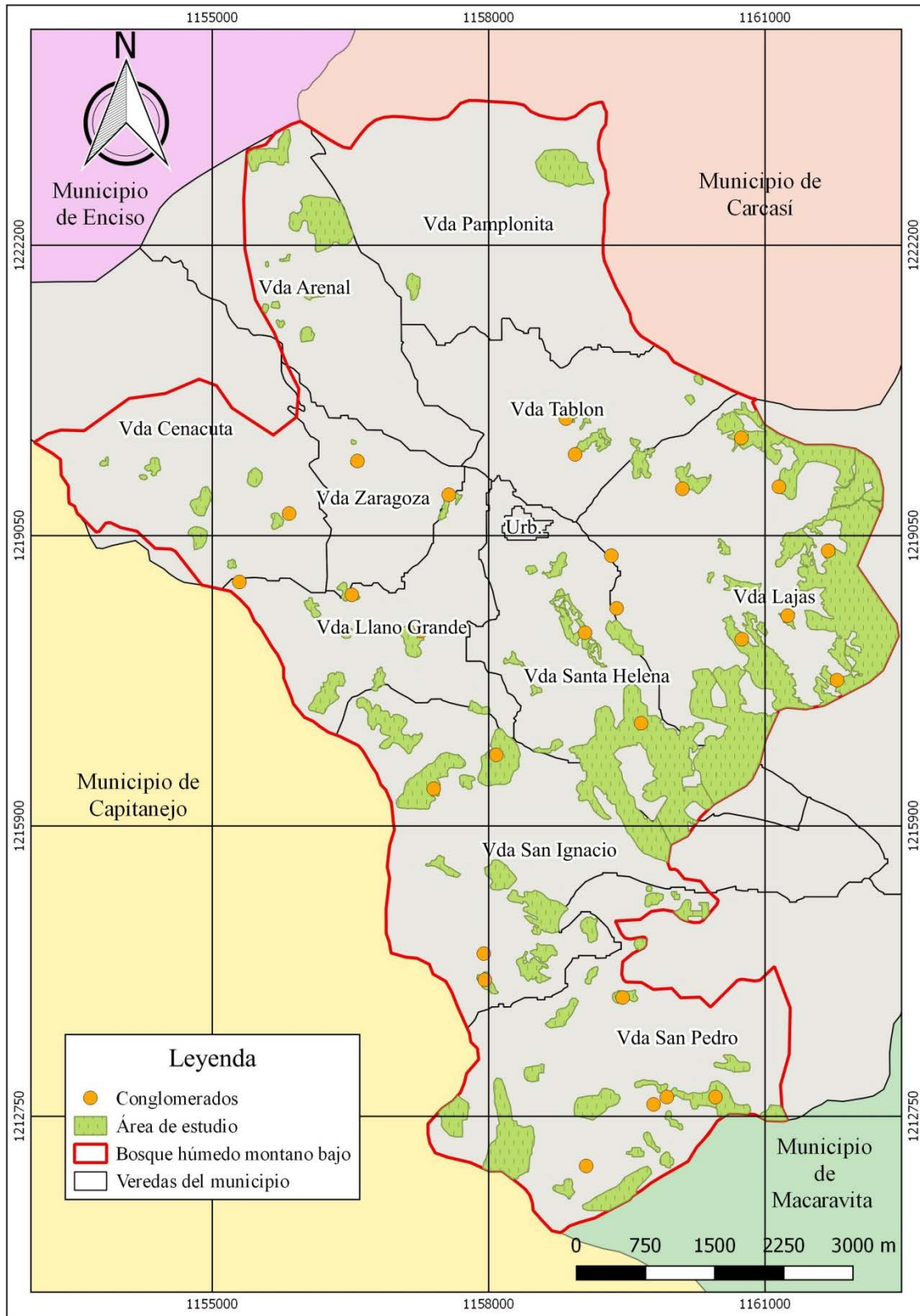


Figura 14. Ubicación de la unidad de muestreo en el área de bosque para la realización del muestreo.

Los datos obtenidos en el muestreo son procesados estadísticamente para calcular el tamaño de la muestra. (Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4).

Tabla 1.

Valores de estadígrafo del muestreo de la categoría de brinjal.

Estadígrafos	Valor
Media	1.20
Desviación estándar	0.78
Coefficiente de variación	64.82
N par	48
Grados de libertad	47
Probabilidad	0.9
T. Student	1.30
Error de muestreo	15
Número de subparcelas	32

Tabla 2.

Valores de estadígrafo del muestreo de la categoría de latizal.

Estadígrafos	Valor
Media	5.50
Desviación estándar	4.31
Coefficiente de variación	78.38
N par	45
Grados de libertad	44
Probabilidad	0.9
T. Student	1.30
Error de muestreo	15
Número de subparcelas	46

Tabla 3.

Valores de estadígrafo del muestreo de la categoría fustal.

Estadígrafos	Valor
Media	22.27
Desviación estándar	14.69
Coefficiente de variación	65.95

(Continuación tabla 3).

N par	48
Grados de libertad	47
Probabilidad	0.9
T. Student	1.30
Error de muestreo	15
Número de subparcelas	33

Tabla 4.

Valores de estadígrafo del muestreo de la categoría fustal grande.

Estadígrafos	Valor
Media	12.62
Desviación estándar	10.06
Coefficiente de variación	79.71
N par	48
Grados de libertad	47
Probabilidad	0.9
T. Student	1.30
Error de muestreo	15
Número de subparcelas	48

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del tamaño de la muestra de cada categoría de tamaño a medir en el inventario, se concluyó que los 28 conglomerados realizados en campo fueron suficientes para el estudio y serán las que proporcionen la información para la composición florística, estructura y biodiversidad del bosque.

Por lo anterior se muestreo un total de 48 subparcelas equivalentes a $33.936 m^2$ para la categoría de fustal grande, $7.392 m^2$ para la categoría de fustal, $1.271 m^2$ para la categoría de latizal y $339 m^2$ para la categoría de brinzal, para un total equivalente a $42.939 m^2$.

6.5 Composición florística

En el inventario florístico se registró un total de 1465 individuos de los cuales 339 corresponden a la categoría de fustal grande, 616 individuos para fustal, 263 individuos para latizal y 247 individuos para brinzal. Se registró un total de 80 especies, de las cuales se identificaron 77 especies pertenecientes a 40 familias y 57 géneros. Las familias con mayor número de especies son: ESCALLONIACEAE con dos especies (16.9%); FAGACEAE con una especies (13.6%); MYRSINACEAE con tres especies (13.1%) y la familia MELASTOMATACEAE con tres especies (6.9%), ahora las familias con menor número de especies son: la familia LYTHRACEAE y VERBENACEAE con una sola especie respectivamente (0.07%). En la tabla 5 se muestra la composición florística presente en el bosque perteneciente al bh-MB del municipio de San Miguel (Santander).

Tabla 5.

Especies encontradas en el área de estudio.

Id	Familia	Nombre científico	Nombre común
1	Acanthaceae	<i>Trichanthera gigantea (Humb. & Bonpl.) Nees</i>	Yatago
2	Adoxaceae	<i>Viburnum triphyllum Benth.</i>	Garrocho
3	Adoxaceae	<i>Viburnum tinoides L.f.</i>	Garrocho blanco
4	Anacardiaceae	<i>Mauria heterophylla Kunth</i>	Cornecabro
5	Anacardiaceae	<i>Mauria ferruginea Tul.</i>	Tatacua
6	Anacardiaceae	<i>Pistacia terebinthus L.</i>	Trementino
7	Anacardiaceae	<i>Toxicodendron striatum (Ruiz & Pav.) Kuntze</i>	Sarno
8	Annonaceae	<i>Annona cherimola Mill.</i>	Chirimoyo
9	Aquifoliaceae	<i>Ilex danielis Killip & Cuatrec.</i>	Palo negro
10	Asteraceae	<i>Ageratina popayanensis (Hieron.) R.M.King & H.Rob.</i>	Jarilla
11	Asteraceae	<i>Baccharis macrantha Kunth</i>	Chilco
12	Asteraceae	<i>Baccharis bogotensis Kunth</i>	Ciro
13	Asteraceae	<i>Baccharis sp.</i>	Ovejero
14	Asteraceae	<i>Piptocoma macrophylla (Sch. Bip.) Pruski</i>	Limoncillo montero
15	Betulaceae	<i>Alnus acuminata Kunth</i>	Aliso

(Continuación tabla 5).

16	Chloranthaceae	<i>Hedyosmum crenatum</i> Occhioni	Granizo
17	Clusiaceae	<i>Calophyllum</i> sp.	Yuco
18	Clusiaceae	<i>Clusia multiflora</i> Kunth.	Gaque
19	Cupressaceae	<i>Hesperocyparis lusitanica</i> (Mill.) Bartel	Cipres
20	Cyatheaceae	<i>Cyathea caracasana</i> (Klotzsch) Domin	Aguaco
21	Escalloniaceae	<i>Escallonia pendula</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Loqueto
22	Escalloniaceae	<i>Escallonia paniculata</i> (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult.	Tobo
23	Euphorbiaceae	<i>Croton draco</i> Schldl.	Sangregado
24	Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Lechero
25	Fagaceae	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	Roble
26	Juglandaceae	<i>Juglans neotropica</i> Diels	Nogal
27	Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i> L.	Laurel
28	Lauraceae	<i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb	Guacharaco
29	Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i> Klotzsch ex Nees	Laurel amarillo
30	Leguminoceae	<i>Acacia melanoxylon</i> R.Br.	Acacia negra
31	Leguminoceae	<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	Dividivi
32	Leguminoceae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Leucaena
33	Lythraceae	<i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Guayacán de manizales
34	Magnoliaceae	<i>Magnolia</i> sp	Chicharrón
35	Magnoliaceae	<i>Magnolia espinalii</i> (Lozano) Govaerts	Hojarasco
36	Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo
37	Malvaceae	<i>Guazuma</i> sp.	Guácimo blanco
38	Malvaceae	<i>Triumfetta</i> sp.	Especie 2
39	Melastomataceae	<i>Miconia asperrima</i> Triana	Melastomataceae
40	Melastomataceae	<i>Miconia dodecandra</i> Cong.	Morcate
41	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp	Tuno
42	Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Cedro macho
43	Meliaceae	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	Cedro
44	Mimosaceae	<i>Inga ornata</i> Kunth	Guamo
45	Mimosaceae	<i>Inga edulis</i> Mart.	Guamo cafetero
46	Mimosaceae	<i>Inga</i> sp.	Guamo pequeño
47	Moraceae	<i>Ficus caucana</i> Dugand	Higuerón
48	Moraceae	<i>Ficus soatensis</i> Dugand	Uvo
49	Myrsinaceae	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Cucharo
50	Myrsinaceae	<i>Myrsine</i> sp	Cucharo blanco
51	Myrsinaceae	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Cucharo rojo
52	Myrtaceae	<i>Calycolpus moritzianus</i> (O. Berg) Burret	Pomarroso montañero
53	Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto
54	Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i> sp.	Eucalipto grandis

(Continuación tabla 5).

55	Myrtaceae	<i>Myrcia popayanensis</i> Hieron.	Arrayán
56	Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp	Sururo
57	Myrtaceae	<i>Myrcianthes leucoxylla</i> (Ortega) McVaugh	Guayabón
58	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayabo
59	Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	Pomarroso
60	Oleaceae	<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	Urapan
61	Pinaceae	<i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham.	Pino patula
62	Piperaceae	<i>Piper peltatum</i> L.	Cordoncillo
63	Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	Cordoncillo blanco
64	Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	Cordoncillo rojo
65	Rubiaceae	<i>Palicourea</i> sp.	Especie 1
66	Rubiáceae	<i>Coffea arabica</i> L.	Café
67	Rubiáceae	<i>Iseritia haenkeana</i> DC.	Tabaquillo
68	Rubiáceae	<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth	Tinto
69	Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Mandarino
70	Rutáceae	<i>Citrus x aurantium</i>	Naranja
71	Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	Hayuelo
72	Sapotaceae	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Standl.	Níspero montero
73	Solanaceae	<i>Solanum betaceum</i> Cav.	Tomate de árbol
74	Ulmaceae	<i>Mirandaceltis monoica</i> (Hemsl.) Sharp	Escobillo
75	Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i> L.	Yagrumo
76	Urticaceae	<i>Cecropia angustifolia</i> Trécul	Yarumo
77	Verbenaceae	<i>Duranta mutissi</i> L.f.	Cucala
78	-	-	Especie 3
79	-	-	Especie 4
80	-	-	Especie 5

6.6 Estructura Horizontal

Índice de Valor de Importancia (IVI): la figura 15 muestra la integración de los parámetros de abundancia, frecuencia y dominancia, que al evaluarse juntos se tiene que la especie *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) es la más representativa con un valor equivalente a 55.27%, esto se debe por su gran abundancia con 207 individuos y dominancia con un área basal de 14.1 m², seguida

del *Quercus humboldtii* Bonpl. con 48.78%, puesto que es la segunda especie más abundante con 170 individuos y dominante con 13.9 m^2 , en el tercer puesto se encuentra la especie *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze con un valor equivalente a 20.51% de IVI, a pesar de no ser una especie abundante ni dominante esta especie sobresale en la frecuencia con un valor de 9.94% presente en 18 parcelas, en el cuarto puesto se encuentra la especie *Pinus patula* Schltdl. & Cham con un valor igual a 16.09%, se le otorga este lugar debido a que es la tercera especie con mayor abundancia con 77 individuos y dominancia 3.4 m^2 . Ahora bien, la especie con menor importancia fueron las especies *Cecropia angustifolia* Trécul, *Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.) DC., *Inga edulis* Mart., *Isertia haenkeana* DC., *Baccharis bogotensis* Kunth, *Ageratina popayanensis* (Hieron.) R.M.King & H.Rob., *Viburnum tinoides* L.f. y *Mauria ferruginea* Tul., con valores de IVI que oscilan entre 0.79% y 0.67%, puesto que solo se registró una especie respectivamente.

Según Galindo et al. (2003), registraron 93 especies y 57 especies respectivamente en dos ecosistemas con altitudes entre 2400 a 2800 m.s.n.m, los cuales coinciden con el área estudiada en este proyecto, en estos bosques se presentó una marcada dominancia del *Quercus humboldtii* Bonpl. con 49% y 69% de IVI respectivamente, esta riqueza es un poco más alta en comparación con la observada en este proyecto, pero aun así se denota que son muy similares en heterogeneidad a pesar de tener una especie más dominante, aunque según M. Franco et al. (2010), censaron individuos con $\text{DAP} \geq 2.5\text{cm}$ registrando 62 especies entre altitudes de 2650 a 2900 m.s.n.m, sobresalió la especie *Weinmannia pubescens* Kunth con 32.7% de IVI, aunque fue la más representativa no se registró una especie dominante como tal, pero se evidencia que aun así en este estudio no se presentó esta especie a pesar de estar entre los mismo rangos de altitud.

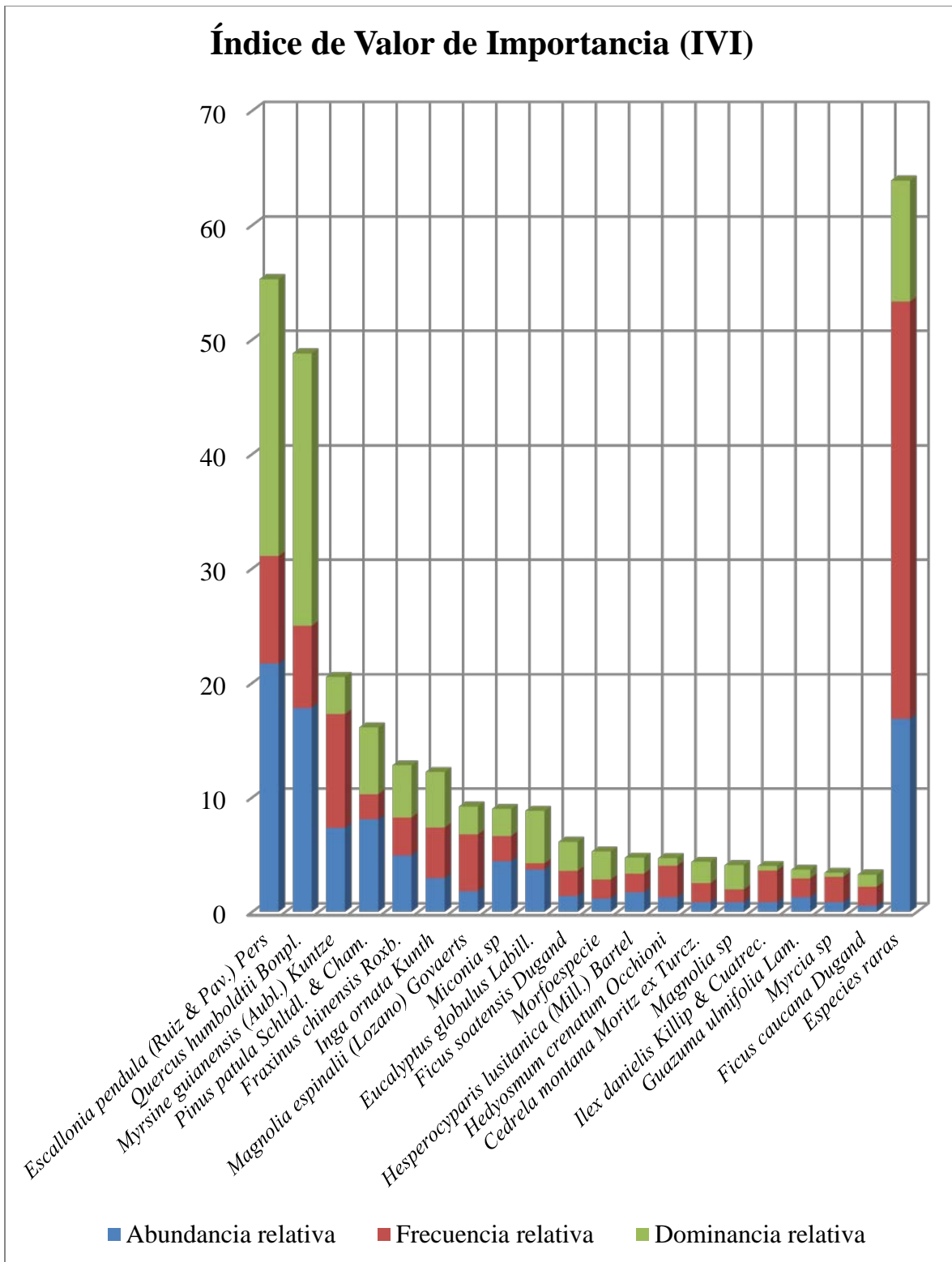


Figura 15. Índice de valor de importancia IVI de los individuos de la categoría fustal grande y fustal.

Cociente de Mezcla: se registraron un total de 80 especies y 1465 individuos, por lo cual el cociente de mezcla tiene un valor de 0.055, este valor se traduce en 1/18, es decir que por cada especie encontrada se presenta 18 individuos en el bosque, de acuerdo a esto se puede afirmar que el bosque tiende a la homogeneidad, sin embargo se observa que no es así, puesto que es evidente que en la zona existe una gran diversidad florística de especies que se encuentran representadas por pocos individuos.

Así como lo analiza Gordo (2009), donde examino un bosque natural ubicado a 1880 m.s.n.m, el cociente de mezcla permite identificar como se distribuyen las diferentes especies dentro del bosque, es así que el valor hallado para este estudio fue de 1/45 lo que indica que por cada especie encontrada hay 45 individuos en el bosque objeto de estudio, indicando cierta proporción de mezcla sin mucha heterogeneidad del ecosistema, dicho resultado es similar al proyecto estudiado.

6.7 Estructura vertical

Índice de Posición Sociológica (IPS): la figura 16 se diferencia tres estratos, estrato bajo con un total de 297 individuos, estrato intermedio con 581 individuos y estrato alto con 77 individuos. Siendo así la especie más representativa es *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.), a pesar de no contar con ningún individuo en el estrato alto, tiene valor representativo de 21.52%, lo anterior debido al número total de individuos presentes en la zona de estudio, en el segundo lugar se tiene el *Quercus humboldtii* Bonpl con 17.39%, en el tercer lugar se tiene la especie *Pinus patula* Schltdl. & Cham con un porcentaje de 10.2%, las dos últimas especies están presentes en los tres estratos, en la cuarta posición del IPS se tiene la *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze con un valor equivalente a 6.28% sin tener ningún individuo en el estrato alto.

Regeneración Natural (RN): La figura 17 representa la regeneración natural presente en la zona de estudio donde se diferencia tres categorías de tamaño, clase I el cual tiene en cuenta individuos con alturas entre el intervalo de (< 8 m), de tal forma se tiene un total de 498 individuos, la clase II está conformado por individuos que se encuentren en el intervalo (≥ 8 m - < 15 m), para esta se tienen 12 individuos y en la clase III se tienen aquellos individuos con alturas que se encuentren en el intervalo (≥ 15 m - ≤ 9.99 cm de dap), por lo cual se tiene cero individuos.

La especie más representativa en la RN (*figura 17*) es el *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze con un valor de 18.49%, puesto que esta especie cuenta con el mayor número de individuos, en el segundo lugar se tiene la especie *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers con 7.69%, en el tercer lugar se encuentra el *Clusia multiflora* Kunth con un valor de 6.84%, seguido de la especie *Quercus humboldtii* Bonpl. con un valor de 6.11%, cabe mencionar que para las especies *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers, *Clusia multiflora* Kunth y *Quercus humboldtii* Bonpl. no tiene ningún individuo presente en la categoría de tamaño clase II y III. En los últimos puestos se encuentra las especies *Baccharis macrantha* Kunth, *Hesperocyparis lusitanica* (Mill.) Bartel., *Duranta mutissi* L.f., *Laurus nobilis* L., *Baccharis* sp., *Ilex danielis* Killip & Cuatrec., *Toxicodendron striatum* (Ruiz & Pav.) Kuntze y *Isertia haenkeana* DC. por lo cual su supervivencia no se encuentra asegurada en el bosque.

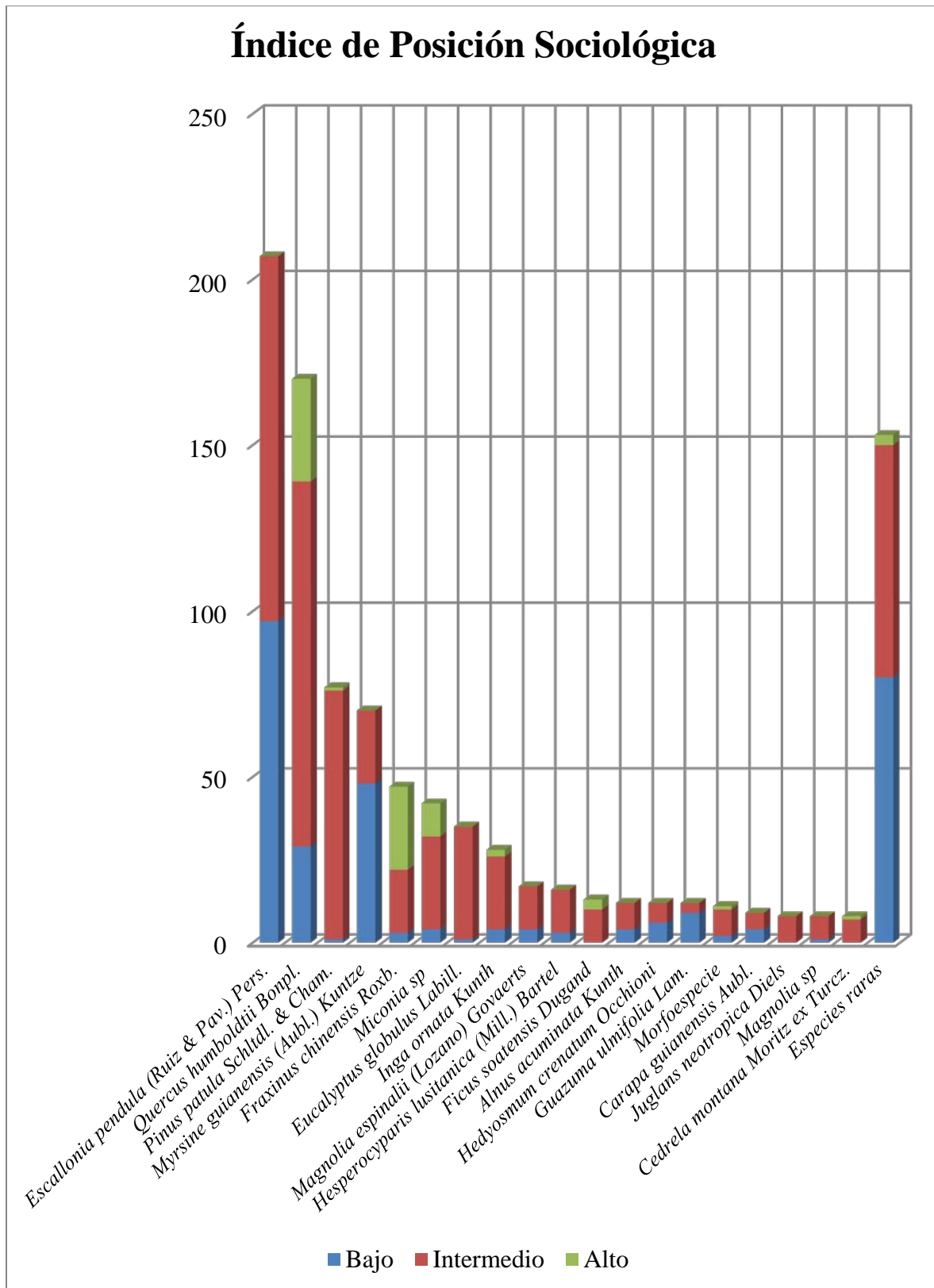


Figura 16. Índice de posición sociológica de las especies de la categoría fustal grande y fustal.

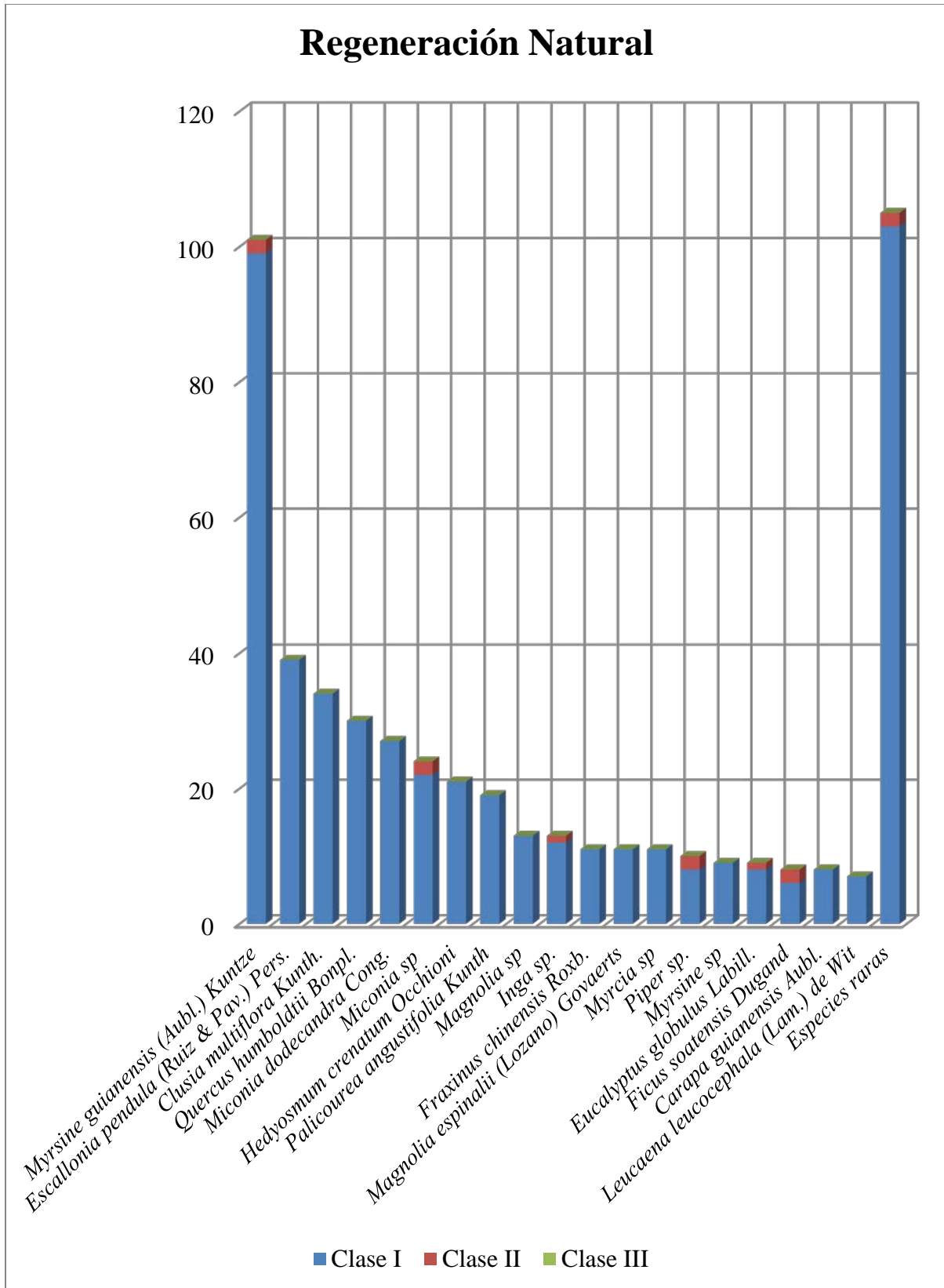


Figura 17. Regeneración natural de las especies de la categoría latifolia y brinzal.

Índice de Valor de Importancia Ampliado (IVIA): la figura 18 muestra la integración de los parámetros de Índice de Valor de Importancia (IVI), Índice de Posición Sociológica (PS) y Renegación Natural (RN), por lo anterior las especies con mayor peso ecológico en el estudio realizado fueron: *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers (84.48%) y *Quercus humboldtii* Bonpl. (72.28%), siendo estas las especies más representativas del bosque puesto que se encuentran en las tres índices evaluados, de tal forma se considera que pueden ocupar el dosel del bosque. En tercer lugar se encuentra la especie *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze (49.2%), presenta una alta frecuencia en latizal y brinzal, lo que indica que en un futuro podría tener un lugar en los estratos superiores.

Al realizar una confrontación entre el Índice de Valor de Importancia (figura 18) y el Índice de Importancia Ampliado (IIA) (figura 19) se tiene que la especie con mayor peso ecológico no es *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers sino *Quercus humboldtii* Bonpl. con un 61.1%, en el segundo puesto se tiene la especie *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze 56.1% que para el IVI lo considera en el tercer puesto y en el tercer lugar se tiene *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers con un valor de 56%. La variación que existe entre estos dos índices se debe principalmente porque el IVIA es un índice más detallado que se encuentra orientado a evaluar especies arbóreas en cambio el IIA tiene en cuenta todas las especies presentes en la zona de estudio.

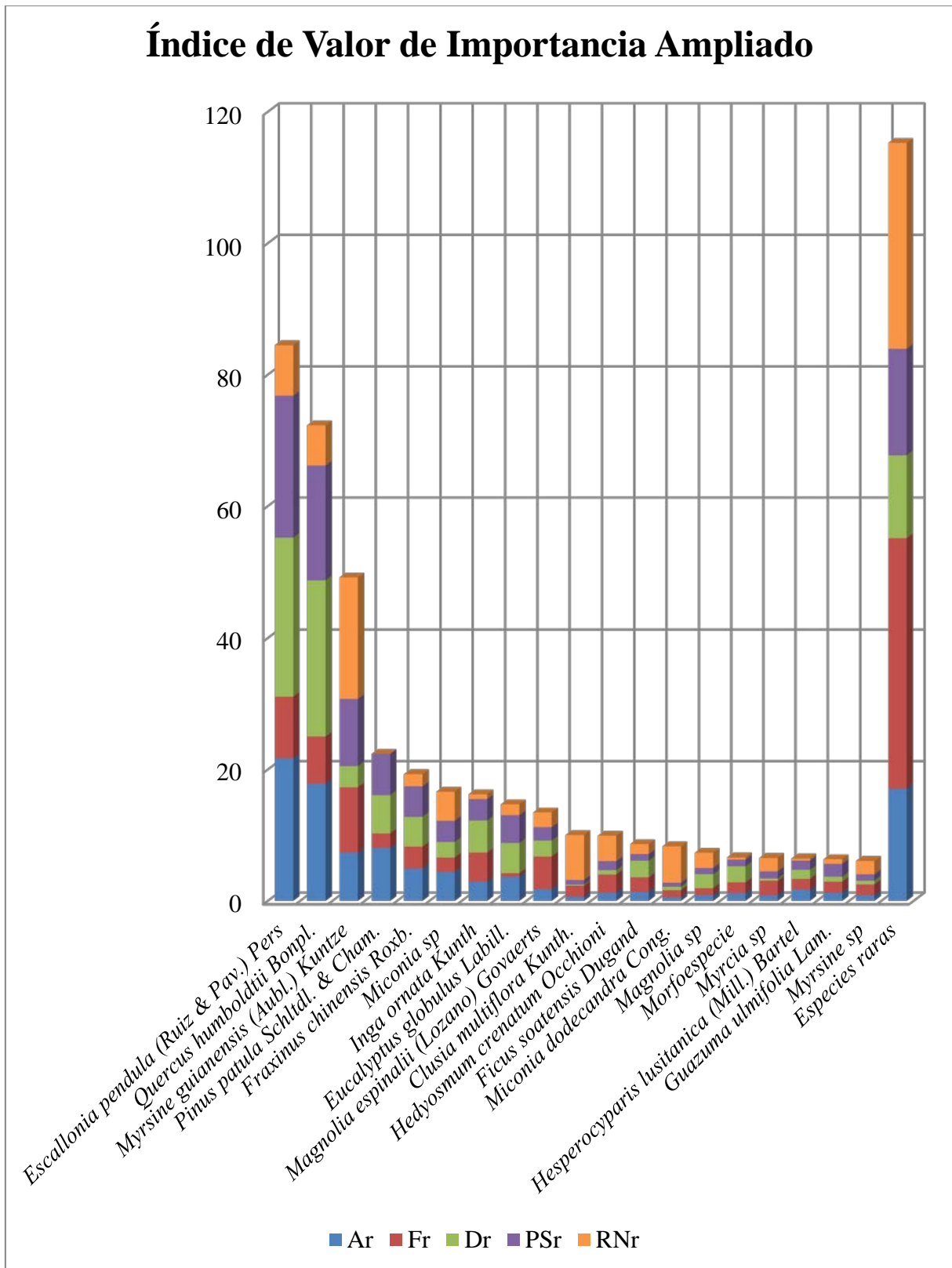


Figura 18. Índice de valor de importancia ampliado para el área de estudio.

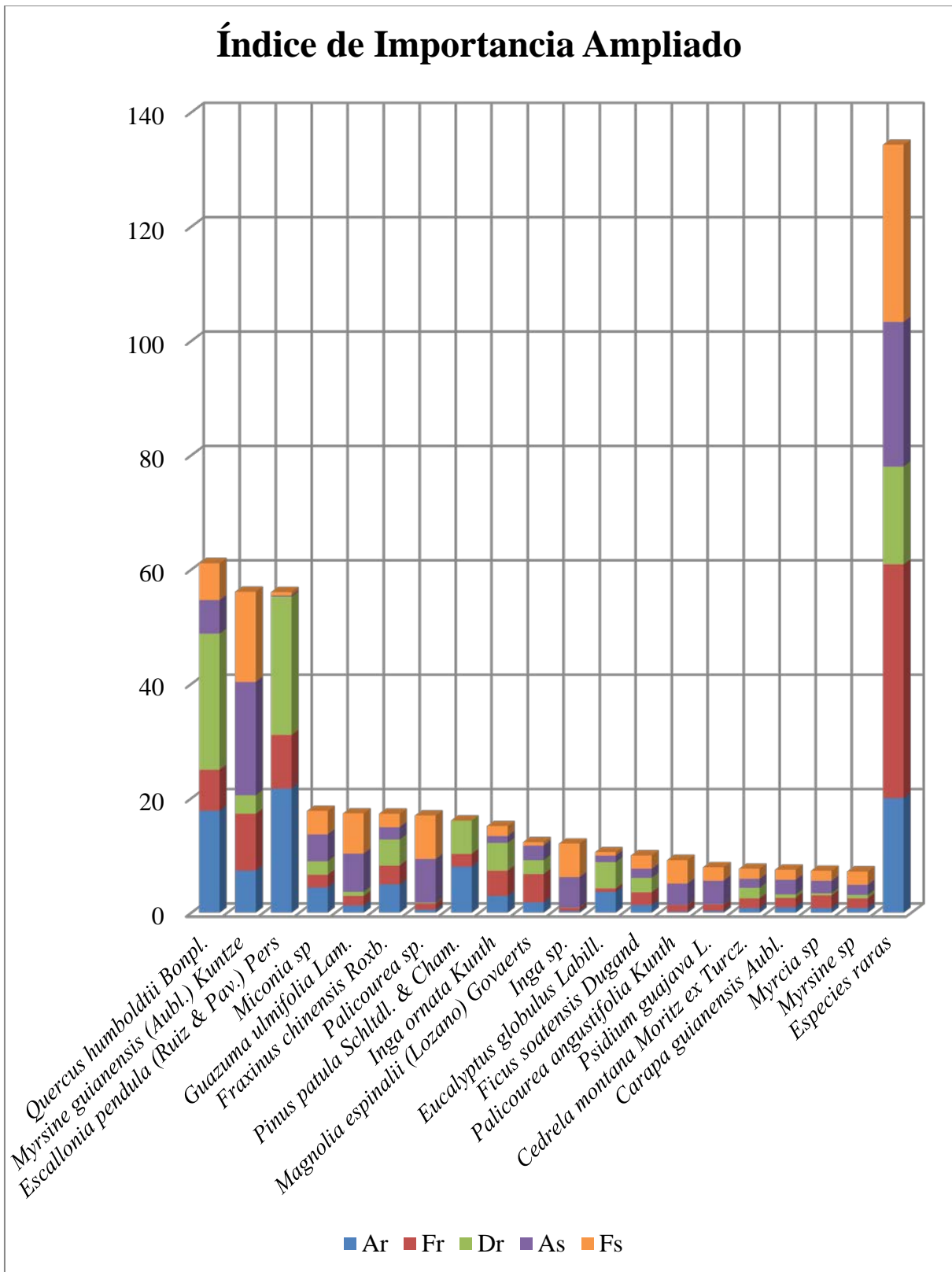


Figura 19. Índice de importancia ampliado para el área de estudio.

Índice de Predominio Fisionómico (IPF): de acuerdo con la información obtenida (figura 20) se tiene que la especie con mayor relevancia en el IPF de la categoría de fustal grande y fustal es la especie *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers (69.5%), seguida de *Quercus humboldtii* Bonpl (65.4%), debido a que estas dos especies cuentan con mayor predominio en el bosque, en el tercer lugar se encuentra el *Pinus patula* Schltdl. & Cham (20.2%), las demás especies presentan un bajo predominio debido a su cobertura no es tan significativa.

Para la categoría de latizal (figura 21) muestra que la especie con mayor relevancia en el IPF es la especie *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze (62.25%), debido a que se encuentra en las tres categorías, seguida del *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers (24.6%), en el tercer lugar se encuentra la especie *Inga sp.* (20.76%), teniendo valores representativos en la cobertura relativa.

Para la categoría de brinzal (figura 22) la información obtenida muestra que la especie con mayor relevancia en el IPF es la especie *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze con un valor de 78%, debido a su gran representación en brinzal, seguida del *Clusia multiflora* Kunth con un valor de 27.4%, en el tercer lugar se encuentra la especie *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers con un valor de 23.2%.

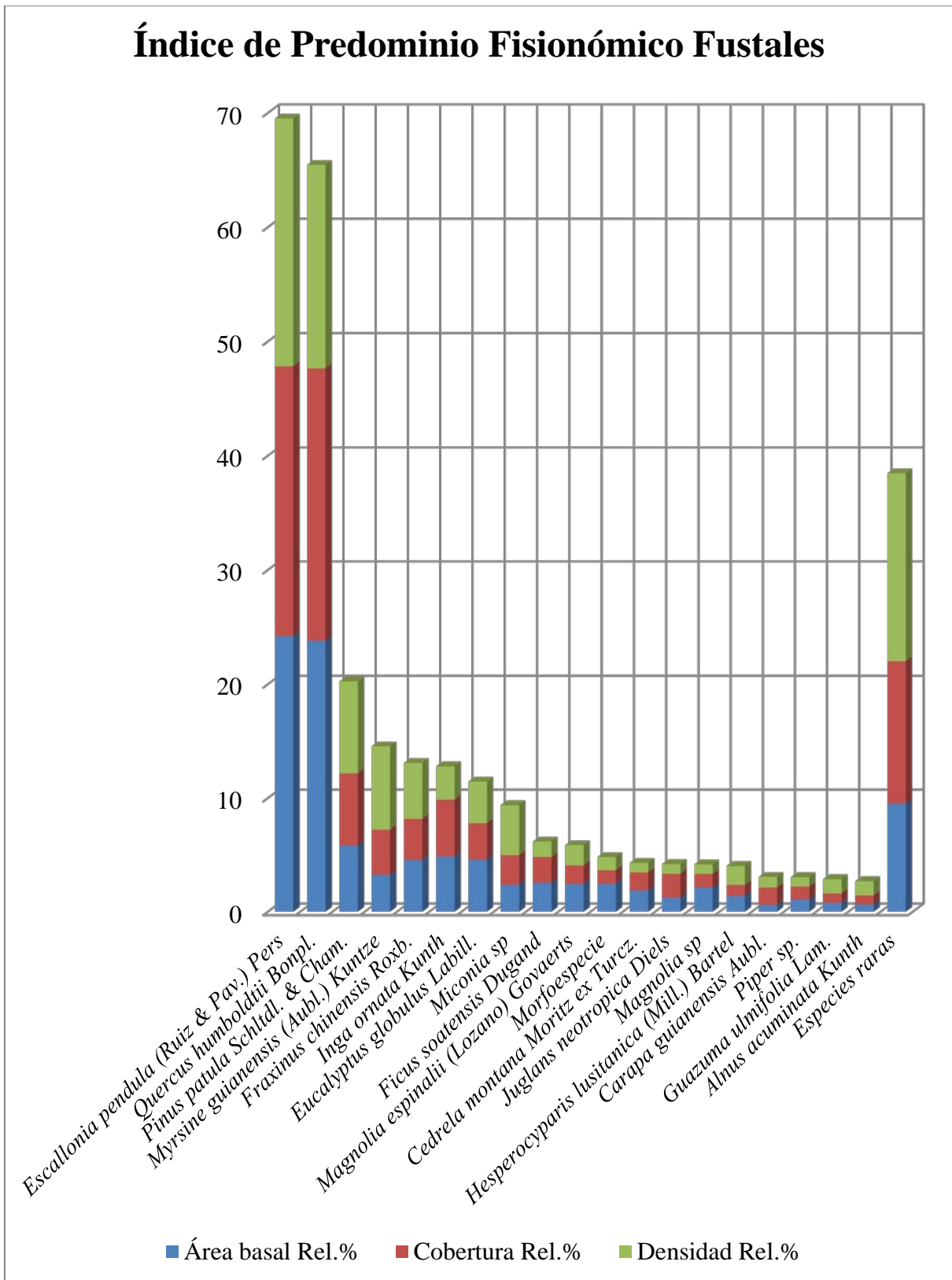


Figura 20. Índice de Predominio Fisionómico de las categorías fustal y fustal grande.

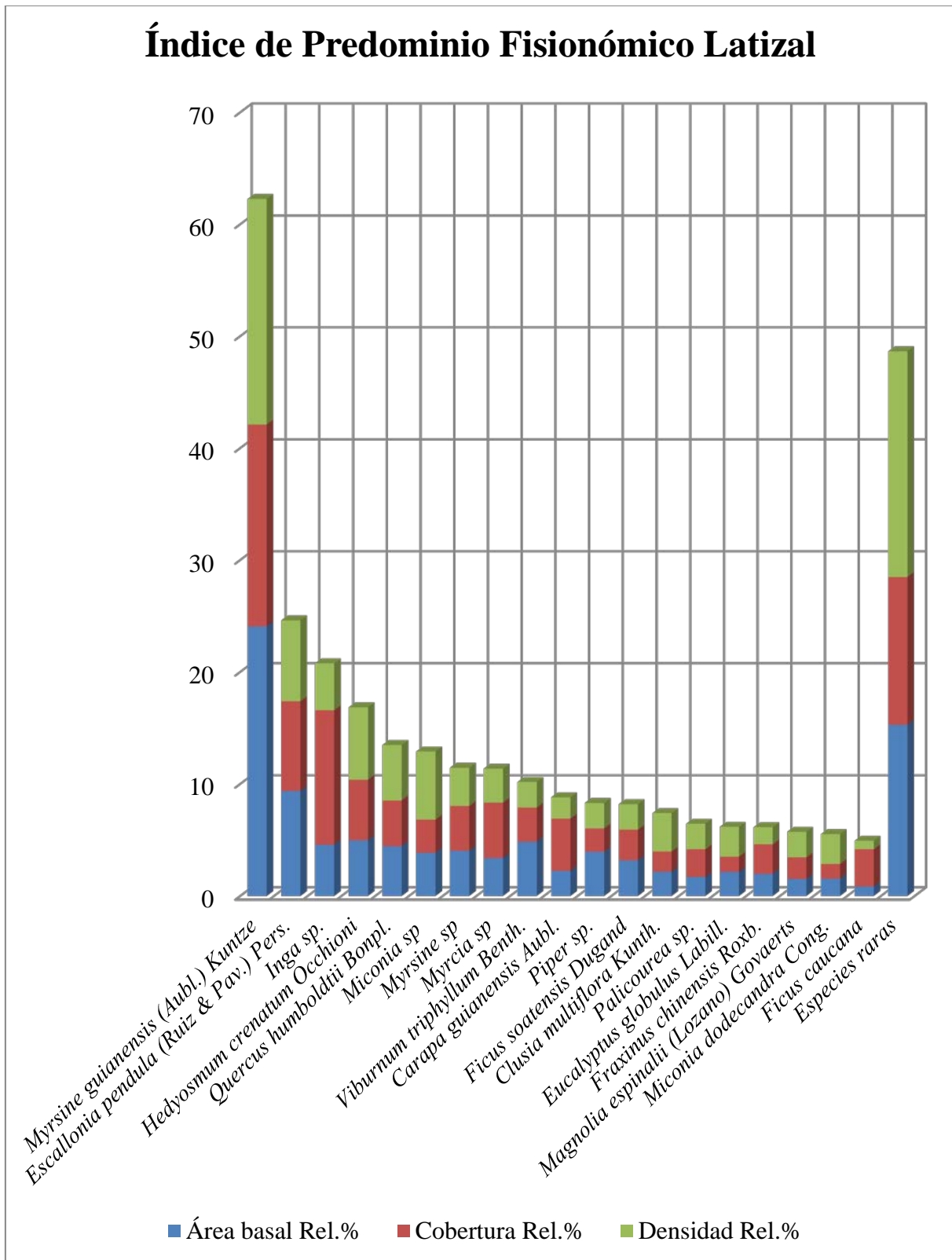


Figura 21. Índice de Predominio Fisionómico de la categoría de latizal.

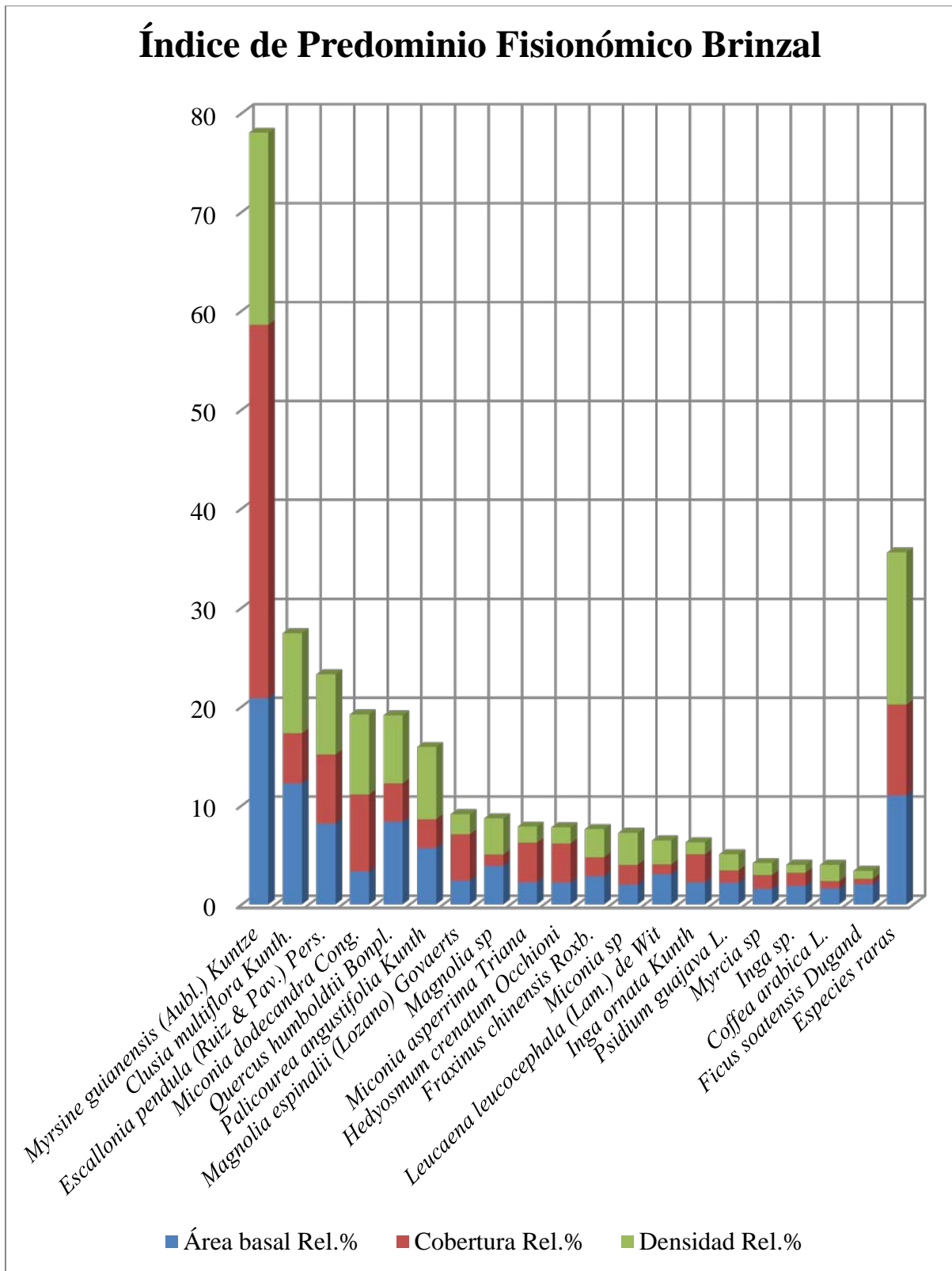


Figura 22. Índice de Predominio Fisionómico de la categoría de brinzal.

6.8 Diversidad alfa

Los índices evaluados para el bosque húmedo montano bajo del municipio de San Miguel permiten conocer la riqueza, dominancia y equidad del bosque, con el fin de tener una visión más amplia de las especies que se encuentran en el área. La tabla 6 muestra los resultados de los índices de diversidad alfa para este estudio.

Tabla 6.
Valores de Índices que representan la Alfa diversidad del bosque

Índice de biodiversidad		Fustal	Latizal	
Índices de Riqueza específica	Riqueza de especies	62	47	
	Índice de Margalef	8.890	8.255	
	Índice de Menhinick	2.006	2.898	
Estructura: Índice de abundancia proporcional	Índice de dominancia	Índice de Simpson (λ)	0.100	0.068
		$1-\lambda$ (Heterogeneidad)	90.04%	93.233%
	Índice de equidad	Índice de Berger-Parker	0.217	0.2015
		Índice de Shannon-Wiener	2.986	3.248
	Índice de Pielou	0.7235	0.8437	

Riqueza de especies: se registraron 79 especies, 62 especies en la categoría de fustal con 955 individuos y 47 especies para latizal con 263 individuos (Tabla 6). Aun cuando el fustal tiene un 24.2% más de especies que latizal hay que considerar que no todas las especies presentes en fustal están incluidas en latizal, por lo anterior 32 especies son exclusivas de fustal lo que representa un 40.5% y 17 especies son exclusivas de latizal con un 21.5%, por lo cual la categoría de fustal cuenta con una mayor riqueza de especies que latizal.

Índice de Margalef y Menhinick: de la aplicación de las formulas se tiene que la categoría de fustal tiene una mayor riqueza específica que latizal, lo que significa una cantidad de especies vegetales más que latizal (Tabla 6). Para fustal se tiene que por cada nueve individuos se

encontrara una especie adicional, este valor indica que la diversidad es baja, ya que es una proporción muy pequeña de especies diferentes para el número de individuos encontrados, lo anterior se debe a que la especie dominante es *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers, analizando el componente latizal ocurre lo mismo que fustal solo que por cada ocho individuos se encontrara una especie adicional y en este caso la especie dominante es *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze.

Índice de Simpson (λ) y $1-\lambda$ (Heterogeneidad): estos índices nos muestra que la categoría que presenta mayor dominancia es fustal, es decir que la probabilidad de que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie es más alta en fustal que en latizal (Tabla 6). Esta tiene mayor dominancia dado que parte de sus especies dominantes no lo son para latizal, por lo tanto la mayor especie dominante para latizal es *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze con un valor de 24.06% pero en fustal ocupa el séptimo lugar de dominancia con 3.24%, cabe resaltar que la especie *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers ocupa el segundo lugar de dominancia para latizal con 9.35% pero en es la más dominante para fustal con un valor de 24.2%, seguido se encuentran las especies *Quercus humboldtii* Bonpl. (23.8%), *Pinus patula* Schltdl. & Cham. (5.82%), *Inga ornata* Kunth (4.86%), *Eucalyptus globulus* Labill. (4.59%), *Fraxinus chinensis* Roxb. (4.55%). Finalmente, los datos indican que tanto para fustal y latizal son una comunidad equitativa, es decir que no presentan una especie dominante.

Índice de Berger-Parker: se encuentra una menor dominancia pero gran diversidad en fustal a comparación de latizal, lo que quiere decir es que no existe una especie dominante sino una variedad de especies (Tabla 6), debido principalmente por las condiciones climáticas con las que cuenta la zona, aunque la diferencia sea mínima entre estas categorías, existe un cambio en la composición de especies, presentan un 37.9% de especies en común, para ambas categorías se

tienen especies tales como: *Hedyosmum crenatum* Occhioni, *Magnolia espinalii* (Lozano) Govaerts, *Miconia* sp, *Clusia multiflora* Kunth.

Índice de Shannon-Wiener e Índice de Pielou: el valor de latizal fue levemente mayor al de fustal, lo cual indica que el componente latizal cuenta con una comunidad más equitativa que fustal, lo cual se debe a que el número de individuos es casi semejante al número de las distintas especies (Tabla 6). De acuerdo con este índice de Pielou tanto fustal como latizal son proporcionalmente diversos, pero quien presenta una distribución más equitativa es la categoría de latizal, dado que la mayoría de individuos de fustal pertenecen al género de *Escallonia*, *Quercus*, *Myrsine* y *Pinus* mientras que para latizal se tiene *Myrsine*, *Miconia*, *Escallonia*, *Hedyosmum*, *Quercus*, *Inga* y *Eucalyptus*.

Según Higuera y Cuéllar (2013) en los cerros orientales de Bogotá que se encuentran a una altura de 2730 a 3170 m.s.n.m, registro en el Parque Nacional 101 especies, en la quebrada La Vieja 87 especies y en Los Soches 78 especies, esta riqueza observada es alta en comparación con el presente trabajo, las especies registradas son casi similares a las registradas en el estudio del bh-MB del municipio de San Miguel (Santander). Aunque existe una similitud existe una diferencia en cuanto a las familias y especies más importantes. Los autores reportan que las especies más importantes son *Dicksonia sellowiana* Hook y *Dysopsis paucidentata* (Müll.Arg.) Lozano & J. Murillo, mientras que para el presente estudio se registró que la especie más importante es *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers y *Quercus humboldtii* Bonpl.

En cuanto a la biodiversidad según Higuera y Cuéllar (2013) para todas las zonas de estudio en las que enfocaron su investigación, evaluaron la riqueza específica con el índice de Margalef, la dominancia por medio del índice de Simpson y la equidad con el índice de Shannon – Wiener, como resultado registro que la vegetación cuenta con una alta y media diversidad, no se tiene una

especie dominante por lo cual cuenta con una distribución más equitativa, esto mismo sucede en este estudio la zona cuenta con una alta diversidad, sin presencia de una especie dominante por lo cual existe una comunidad equitativa.

6.9 Estado de conservación de especie

El estado de conservación de las especies encontradas en la zona de estudio fue evaluada inicialmente revisando la convención sobre el comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) en donde se encontró que especie *Cyathea caracasana* (Klotzsch) Domin se encuentra en estado de Peligro de extinción. (Tabla 7)

Al revisar la base de datos de la unión internacional para la conservación de la naturaleza (UICN) se analizó que de las 77 especies identificadas 62 de estas no se encuentran evaluadas, además es una zona de gran interés para la conservación de especies, ya que se encontraron algunos individuos con cierta categoría de amenaza, como lo son: *Magnolia espinalii* (Lozano) Govaerts que se encuentra en peligro crítico (CR), *Juglans neotropica* Diels evaluada en peligro (EN), *Quercus humboldtii* Bonpl. siendo una especie vulnerable (VU) y *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. catalogada como casi amenazada (NT), siendo así ciertos lugares se convierten en puntos estratégicos para el mantenimiento de la biodiversidad. (Tabla 7).

Tabla 7.
Estado de conservación de las especies encontradas en el bosque.

Id	Nombre científico	CITES	UICN
1	<i>Acacia melanoxylon</i> R.Br.	-	NE
2	<i>Ageratina popayanensis</i> (Hieron.) R.M.King & H.Rob.	-	NE
3	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	-	NE
4	<i>Annona cherimola</i> Mill.	-	NE
5	<i>Baccharis bogotensis</i> Kunth	-	NE

(Continuación tabla 7).

6	<i>Baccharis macrantha</i> Kunth	-	NE
7	<i>Baccharis</i> sp.	-	-
8	<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	-	NE
9	<i>Calophyllum</i> sp.	-	-
10	<i>Calycolpus moritzianus</i> (O. Berg) Burret	-	NE
11	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	-	NE
12	<i>Cecropia angustifolia</i> Trécul	-	NE
13	<i>Cecropia peltata</i> L.	-	NE
14	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	-	NT
15	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	-	NE
16	<i>Citrus x aurantium</i>	-	NE
17	<i>Clusia multiflora</i> Kunth.	-	NE
18	<i>Coffea arabica</i> L.	-	NE
19	<i>Croton draco</i> Schldl.	-	NE
20	<i>Cyathea caracasana</i> (Klotzsch) Domin	II	NE
21	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	-	NE
22	<i>Duranta mutissi</i> L.f.	-	NE
23	<i>Escallonia paniculata</i> (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult.	-	NE
24	<i>Escallonia pendula</i> (Ruiz & Pav.) Pers	-	NE
25	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	-	NE
26	<i>Eucalyptus</i> sp.	-	-
27	<i>Ficus caucana</i> Dugand	-	NE
28	<i>Ficus soatensis</i> Dugand	-	NE
29	<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	-	NE
30	<i>Guazuma</i> sp.	-	-
31	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	-	NE
32	<i>Hedyosmum crenatum</i> Occhioni	-	NE
33	<i>Hesperocyparis lusitanica</i> (Mill.) Bartel	-	NE
34	<i>Ilex danielis</i> Killip & Cuatrec.	-	NE
35	<i>Inga</i> sp.	-	-
36	<i>Inga edulis</i> Mart.	-	NE
37	<i>Inga ornata</i> Kunth	-	NE
38	<i>Isertia haenkeana</i> DC.	-	NE
39	<i>Juglans neotropica</i> Diels	-	EN
40	<i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	-	NE
41	<i>Laurus nobilis</i> L.	-	NE
42	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	-	NE
43	<i>Magnolia espinalii</i> (Lozano) Govaerts	-	CR
44	<i>Magnolia</i> sp	-	NE

(Continuación tabla 7).

45	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Standl.	-	NE
46	<i>Mauria ferruginea</i> Tul.	-	NE
47	<i>Mauria heterophylla</i> Kunth	-	NE
48	<i>Miconia dodecandra</i> Cong.	-	NE
49	<i>Miconia</i> sp.	-	-
50	<i>Miconia asperrima</i> Triana	-	NE
51	<i>Mirandaceltis monoica</i> (Hemsl.) Sharp	-	NE
52	<i>Myrcia popayanensis</i> Hieron.	-	-
53	<i>Myrcia</i> sp.	-	NE
54	<i>Myrcianthes leucoxylla</i> (Ortega) McVaugh	-	NE
55	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	-	NE
56	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	-	NE
57	<i>Myrsine</i> sp.	-	NE
58	<i>Nectandra laurel</i> Klotzch ex Nees	-	NE
59	<i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb	-	NE
60	<i>Palicourea angustifolia</i> Kunth	-	NE
61	<i>Palicourea</i> sp.	-	-
62	<i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham.	-	NE
63	<i>Piper peltatum</i> L.	-	NE
64	<i>Piper</i> sp.	-	-
65	<i>Piper</i> sp.	-	-
66	<i>Piptocoma macrophylla</i> (Sch. Bip.) Pruski	-	NE
67	<i>Pistacia terebinthus</i> L.	-	NE
68	<i>Psidium guajava</i> L.	-	NE
69	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	-	VU
70	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	-	NE
71	<i>Solanum betaceum</i> Cav.	-	NE
72	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	-	NE
73	<i>Toxicodendron striatum</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	-	NE
74	<i>Trichanthera gigantea</i> (Humb. & Bonpl.) Nees	-	NE
75	<i>Triumfetta</i> sp.	-	-
76	<i>Viburnum tinoides</i> L.f.	-	NE
77	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	-	NE

Nota: CITES: I: Peligro de extinción, II: No necesariamente en peligro de extinción, III Protegida al menos en un país, UICN: CR: En peligro crítico, EN: En peligro, VU: Vulnerable, NT: Casi amenazada y NE: No evaluado.

7. Conclusiones

❖ La delimitación de la zona boscosa se realizó a través de la composición de falsos colores que como resultado dan diferentes colores y tonos, permitiendo la interpretación visual de las imágenes satelitales del área de estudio, siendo así la zona de bosque representa un 14.61% con respecto al área total.

❖ En cuanto a la composición florística para el área boscosa presente en la zona de vida bosque húmedo montano bajo se inventario un total de 80 especies de las cuales se identificaron un total de 77 especies pertenecientes a 40 familias y 57 géneros, siendo así las familias más representativas son ESCALLONIACEAE, FAGACEAE y MYRSINACEAE. Por lo que se puede decir que esta zona cuenta con una alta diversidad de especies.

❖ La especie con mayor peso ecológico en el área boscosa fue el *Escallonia pendula* (Ruiz & Pav.) Pers con un IVI de 55.27%, esto se debe principalmente por su abundancia y de su forma dispersa, lo que hace que sea una especie muy frecuente en todo el área evaluada.

❖ La regeneración natural de la zona se enfoca en la especie *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze con un valor de 18.49%, presente en las cuatro categorías de tamaño por lo cual cabe mencionar que tiene un valor de importancia, ya que puede ser en un futuro la especie dominante en el bosque.

❖ En términos de diversidad, dominancia y equidad se tiene que este bosque presenta una alta diversidad, por lo cual se puede decir que es un indicio de niveles bajos de perturbación de esta zona, a pesar de las intervenciones antrópicas que se pueden presentar en este tipo de bosques.

8. Recomendaciones

❖ Se recomienda elaborar un plan de conservación para la especie *Quercus humboldtii* Bonpl. siendo esta una especie en estado de conservación vulnerable, y con un alto peso ecológico demostrado en este estudio, con el fin de aumentar el número de individuos presentes en la zona y garantizar su supervivencia.

❖ Es importante que se realicen otros estudios en el área de bosque enfocados en la fauna y productos no maderables que permitan una visión más extensa de la dinámica del bosque, para con ello complementar este tipo de estudios y comprometer a la comunidad a preservar el ecosistema, no solo por la parte hídrica sino por la subsistencia de las especies que se encuentran presentes en el bosque.

❖ Es necesario la implementación de un programa de reforestación, por lo que a pesar que el bosque húmedo montano bajo presenta la mayor extensión de área en el municipio de San Miguel, y posee una alta diversidad, no es proporcional con el área que tiene de bosque, esto puede ser por la intervención antrópica y la extensión de la zona ganadera y agrícola.

❖ Este estudio se puede replicar en áreas en donde no se ha realizado ningún proyecto relacionado con la biodiversidad, principalmente en aquellos municipios que cuenten una extensión de bosque significativo, con el fin de obtener información y una base de datos completa, que permita un manejo sostenible de los recursos naturales.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, V, Araujo, P, y Iturre, M. (2006). Caracteres estructurales de las masas. *Serie didáctica*. Nro 22, Recuperado de <http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-22-Caracteres-estructurales-ACOSTA.pdf>
- Alcaldía Municipal de San Miguel. (2004). Esquema de ordenamiento territorial San Miguel. San Miguel, Colombia: Alcaldía de San Miguel.
- Anaya, C, y Martínez, Y. (2003). *Caracterización de ecosistemas de alta montaña de los municipios de Guaca y San Andrés de la provincia de García Rovira en el departamento de Santander*. (Tesis de pregrado), Universidad Industrial de Santander, Málaga, Colombia.
- Andrade, M. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*, Vol 35 (137), Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v35n137/v35n137a08.pdf>
- Ávila, F, Ángel, S, y López, C. (2010). Diversidad y estructura de un robleal en la Reserva Biológica Cachalú, Encino (Santander-Colombia). *Colombia Forestal*. Vol 13 (1), Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3427/5165%3A%3Ahtml>
- Baca, J. (2000). *Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino-encino* (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/7749/1/1020136368.PDF>
- Begon, M, Harper, J, y Townsend, C. (1999). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Tercera edición. Ediciones Omega S.A., Barcelona España., Recuperado de http://www.javeriana.edu.co/blogs/gtobon/files/M%C3%B3dulo_2_CONCEPTOS_BASICOS.pdf

- Botache, L, Aguilar, F, y Chaves, S. (2011). Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima-Colombia. *Tumbaga*. Vol 1 (6), Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3944231>
- Calderón, E , y Carvajal, F. (2017). *Análisis de la composición florística y estructural de relictos boscosos ubicados en la finca Pantano Hondo del municipio de San Miguel, Santander, Colombia*. (Tesis de pregrado), Universidad Industrial de Santander, Málaga, Colombia.
- Campo, A, y Duval, V. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina) *Anuales de Geografía de la Universidad Complutense. Universidad Complutense de Madrid*. Vol 34 (2), Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/47071/44140>
- Cano, A, y Stevenson, P. (2009). Diversidad y composición florística de tres tipos de bosque en la Estación Biológica Caparú, Vaupés. *Colombia Forestal*. Vol 12 (1), Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3035/4622>
- Cantillo, E, Rodríguez, K, y Avella, E. (2004). Diversidad y caracterización florística estructural de la vegetación arbórea en la Reserva Forestal Carpatos (Guasca Cundinamarca). *Colombia Forestal*. Vol 8 (17), Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3389>
- Carmona, A, y Monsalve, J. (2004). Sistemas de información geográficos. *Congreso de Ingeniería de Sistemas en la Universidad San Buenaventura de Medellín Colombia*., Recuperado de <https://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/bibliografia/capitulo-IV/Carmona%20Alvaro%20y%20Monsalve%20Jhon%20%281999%29%20Sistemas%20de%20informacion%20geografica.pdf>
- Carvajal, G. (2003). *Caracterización de los ecosistemas de alta montaña en los municipios de Málaga, San José de Miranda y Molagavita en la Provincia de García Rovira, en el departamento de Santander*. (Tesis de pregrado), Universidad Industrial de Santander, Málaga, Colombia.

- Castillo, M, y Calvo, J. (2011). Monitoreo de la calidad del agua y caracterización de los bosques de la cuenca del Río Carbón. (*Proyecto de Investigación*) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica., Recuperado de <http://www.olade.org/realc/documento.php?doc=113807>
- Cavelier, J, y Etter, A. (1995). Deforestation of montane forest in Colombia as a result of illegal plantations of opium (*Papaver somniferum*). In *Biodiversity and conservation of neotropical montane forests: proceedings. Bronx, New York Botanical Garden (USA)*. Edición 1 (10), Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/232079749_Deforestation_of_Montane_Forests_in_Colombia_as_a_result_of_Illegal_Plantations_of_Opium_Papaver_somniferum
- Colombia, Consejo Económico de Política Económica y Social, Documento CONPES No. 2834. (1996)., Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Politicasy555_politica_de_bosques.pdf
- Colombia, Constitución Política. (1991)., Recuperado de <http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia.pdf>
- Colombia, Decreto - Ley 2811. (1974)., Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>
- Colombia, Ley 2da. (1959)., Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=9021>
- Colombia, Ley 99, Vol 41. (1993)., Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Colombia, Ley 1021. (2006)., Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=20126>
- Colombia, Política de bosques, Documento CONPES No. 2834. (1996)., Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Politicasy555_politica_de_bosques.pdf

- Comisión Nacional de Actividades Espaciales. (2016). Índices espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat 8 Sensor OLI. Versión 1, Argentina: CONAE., Recuperado de <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/Docs/IndicesEspectralesDerivadosDeLandsat8.pdf>
- Congedo, Luca. (2016). Semi-automatic classification plugin documentation. *Release 6.0.1.1*, 4(0.1), 29. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. (2012). Caracterización de Bosques., Recuperado de <https://www.cvc.gov.co/tematicas/biodiversidad/bosques-y-tierras-forestales/caracterizacion-de-bosques>
- Cortés, W, García, C, Ortiz, A, Bernal, J, Rodríguez, J, y Gutiérrez, L. (2010). Caracterización y usos tradicionales de productos forestales no maderables (PFNM) en el corredor de conservación Guantiva–La Rusia–Iguaque. *Colombia forestal*. Vol 13 (1), Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/4239/423939613005.pdf>
- Díaz, Juan. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. (Tesis de maestría), Universidad Complutense De Madrid, Madrid, España., Recuperado de http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
- Esperanza, F, y Zerda, H. (2002). Potencialidad de los índices de vegetación para la discriminación de coberturas forestales. *Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago del Estero, Argentina.*, Recuperado de http://www.academia.edu/13450382/POTENCIALIDAD_DE_LOS_%C3%8DNDICES_DE_VEGETACION_%C3%93N_PARA_LA_DISCRIMINACION_%C3%93N_DE_COBERTURAS_FORESTALES
- Finol, H. (1971). Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. *Revista Forestal Venezolana* Vol 14 (21), Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=fn=017777>

- Franco, M, Betancur, J, y Franco, 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*. Vol 32 (1), Recuperado de <http://www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasia.htm>
- Franco, Rodolfo. (2017). Composiciones Landsat en Arcgis. Guía Básica. Bogotá, Colombia., Recuperado de https://mixdyr.files.wordpress.com/2017/06/composiciones_landsat_en-arcgis.pdf
- Gaines, W, Harrod, R, y Lehmkuhl, J. (1999). Monitoring biodiversity: quantification and interpretation. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Vol 443, Recuperado de https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/gtr_443.pdf
- Galindo, R, Betancur, J, y Cadena, J. (2003). Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del santuario de flora y fauna Guanentá-Alto río Fonce, cordillera oriental colombiana. *Caldasia*. Vol 25 (2), Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39393>
- García, M, y Sandoval, G. (2003). *Caracterización de los ecosistemas de alta montaña de los municipios de Carcasí, Enciso, San Miguel y Macaravita, ubicados en la provincia de García Rovira, departamentos de Santander*. (Tesis de pregrado), Universidad Industrial de Santander, Málaga, Colombia.
- Gómez, L, y Silva, A. (2016). *Caracterización Florística y Estructural en Bosques Fragmentados del municipio de Gachetá, Cundinamarca Habitados por el Oso Andino (Tremarctos Ornatus)*. (Trabajo de Investigación). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia., Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3763/1/SilvaVarelaAngelicaMaria2016.pdf>
- Gordo, José. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Revista Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol 7 (1), Recuperado de <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/viewFile/114/94>

- Gutiérrez, A, García, F, Rojas, S, y Castro, F. (2015). Parcela permanente de monitoreo de bosque de galería, en Puerto Gaitán, Meta. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. Vol 16 (1), Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v16n1/v16n1a11.pdf>
- Gutiérrez, A, y Mora, M. (2003). *Caracterización de los ecosistemas de alta montaña de los municipios de Cerrito y Concepción en el departamento de Santander*. (Tesis de pregrado), Universidad Industrial de Santander, Málaga, Colombia.
- Hernández, Z, y Quesada, R. (2000). Cronosecuencia del bosque seco secundario tropical en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Costa Rica. *Seminario Avances en el Manejo del Bosque Secundario en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago (Costa Rica)*, Recuperado de <http://opac.bibliotecaorton.catie.ac.cr/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=460239>
- Higuera, E, y Cuéllar, M. (2013). Diversidad y caracterización florística de la vegetación natural en tres sitios de los cerros orientales de Bogotá D.C. *Colombia forestal*. Vol 16 (2), Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/4239/423939620008.pdf>
- Holdridge, LR. (1966). *The life zone ecology, Costa Rica*, Recuperado de http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/holdridge_1966_-_life_zone_ecology.pdf
- Inskipp, T, y Gillett, HJ. (2003). Checklist of CITES species. *Cambridge, UK*, Recuperado de <http://checklist.cites.org/#/es>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). Metodología Corine land Cover., Bogotá: IDEAM, Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- Lamprecht, H. (1990). *Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas-posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Alemania: Cooperación técnica-Alemania, Eschborn.

- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Alemania: Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- López, D, y Salinas, N. (2007). Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI". Vol 4, Recuperado de https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/LR_MADERABLES.pdf
- Louman, B, Quirós, D, y Nilsson, M. (2001). Silvicultura de bosques latifoliados tropicales con énfasis en América Central. Vol 46 *Turrialba, Costa Rica: CATIE.*, Recuperado de <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/tools/tools-details/es/c/239457/>
- Lozada, José. (2010). Consideraciones metodológicas sobre los estudios de comunidades forestales. *Revista Forestal Venezolana*. Vol 54 (1), Recuperado de http://www.ula.ve/ciencias-forestales-ambientales/indefor/wp-content/uploads/sites/9/2017/01/2010_ConsMetEstComVeg_orig.pdf
- Lozada, J, Costa, M, y Soriano, P. (2008). *Sucesión vegetal en bosques aprovechados de la reserva forestal Caparo y reserva forestal Imataca, Venezuela*. (Tesis de disertación), Universidad de Valencia. Jardín Botánico de Valencia. España., Recuperado de http://uves.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwY2AwNtIz0EUrEwwTk5IMzQySLYA1nIWFqYV5iil4hi7ZyCQpMRV8eINEmKVPhJkz6Mol-JIJ4C0xxXqlZXqpxUjnJQGbxGYGWSCYAAamaCNQdvQ28AMf25lajFQ7uAky8LggzWoLMTClFosw5AYDA6048_DmPIUyYM8c2MZVSM1TSMovBhXECComgrnwqaAo6v1ghJVUhhJ1EBtAauqCxRAXRZZjFluTOwHivKV6jElPEENjMTkxN1FMKAJVVVaWpOoiDrJtriLOHLshx8dAxmXiYJ4yNxBhYgP38VAkGhURLYFVhnGyUbGCZCAyVJAuTtKRkYpFIPM0UNOuaJMkght0MKVwS0gxckOUNoBEDGQbWNGCKTpWFhBMAC5N6gA
- Margalef, R. (1974). *Ecología* Barcelona: Omega.
- Marrugan, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey: EUUA, Recuperado de <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-94-015-7358-0>

- Medina, R, Reina, M, Herrera, E, Ávila, F, Chaparro, O, y Cortés, R. (2010). Catálogo preliminar de la flora vascular de los bosques subandinos de la cuchilla el fara (Santander Colombia). *Colombia forestal*. Vol 13 (1), Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v13n1/v13n1a04.pdf>
- Melo, L, y Camacho, M. (2005). *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*, Bogotá: IGAC : CIAF, Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=9657&shelfbrowse_itemnumber=10236
- Melo, O, y Vargas, R. (2003). Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia., Recuperado de <http://ingenieriaforestalut.blogspot.com.co/2010/10/libro-evaluacion-ecologica-y.html>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Manual de Campo Inventario Forestal Nacional Colombia Versión 3.0. Bogotá, Colombia: IDEAM, Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestal-nacional>
- Molina, M, y Farinós, H. (2012). Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales. *Ecosistemas Agrofrestales (U.D. Botánica)*. Universidad Politecnica de Valencia., España, Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/16285>
- Moreno, Claudia. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza España: M&T–Manuales y Tesis SEA. Cooperación Iberoamericana CYTED, Recuperado de <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Orellana, Jhosmar. (2009). *Determinación de índices de diversidad florística arbórea en las parcelas permanentes de muestreo del Valle de Sacta*. (Tesis de Licenciatura.), Escuela de Ciencias Forestales, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia., Recuperado de <http://www.posgradosfor.umss.edu.bo/boletin/umss/05%20PASANTIAS/6%20pasantia.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2004). Inventario forestal nacional, manual de campo. Italia Roma: FAO, Recuperado de <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/008/ae578s/ae578s00.pdf>

- Peet, R. (1974). The measurement of species diversity. *Annual review of ecology and systematics* Vol 5 (1), Recuperado de http://www.ecologia.ufrgs.br/~adrimelo/div/Peet-1974-The_measurement_species_diversity.pdf
- Picone, N, y Linares, S. (2014). Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y SIG. Ciudad de Tandil, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*. Vol 23 (2), Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652014000200002
- Rangel, J., Lowy, P., y Aguilar, M. (1997). *Colombia diversidad biótica II: tipos de vegetación en Colombia, la distribución de los tipos de vegetación en Colombia*. Bogotá, Colombia: IDEAM, Recuperado de http://www.colombiadiversidadbiotica.com/Sitio_web/LIBROS_DEL_I_AL_IV/Entradas/2011/3/28_COLOMBIA_DIVERSIDAD_BIOTICA_II.html
- Rojas, A, Suárez, J, Guauque, J, y Otavo, E. (2002). Guías técnicas para la ordenación y el manejo sostenible de los bosques naturales. Bogotá. Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Recuperado de <https://es.scribd.com/document/93563409/Guia-Tecnica-para-la-Ordenacion-y-Manejo-de-Bosque-Natural>
- She, X., Zhang, L., Cen, Y., Wu, T., Huang, Ch., y Baig, M. (2015). Comparison of the continuity of vegetation indices derived from Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ data among different vegetation types. *Remote Sensing*. Vol 7 (10), Recuperado de www.mdpi.com/2072-4292/7/10/13485/pdf
- Tinoco, F, Barragán, J, y Esquivel, H. (2014). Structure and Floristic Composition of two Premontane Forests Fragments in the Municipality of Villeta Cundinamarca. *Revista de Ciencias*. Vol 18 (2), Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcien/v18n2/v18n2a03.pdf>
- Valerio, J, y Salas, C. (1998). *Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales* Vol. 2. Santa Cruz, Bolivia., Recuperado de <http://www.ambienteforestalnoa.org.ar/userfiles/biblioteca/download/SilviculturaBosquesTropical.pdf>

- Villareal, H, Álvarez, M, Córdoba, S, Escobar, F, Fagua, G, Gast, F, . . . Umaña, A. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia., Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31419/63.pdf;jsessionid=35E93403E9F3CCC92C4B879E14ACD562?sequence=1>*
- Von Bennewitz, E, y Cazanga, R. (2012). *Uso de imágenes satelitales multiespectrales e índices de vegetación, como herramientas para estudiar el desarrollo fenológico y crecimiento del cerezo (Prunus avium L.) en tres localidades de la provincia de Curicó, región del Maule-chile.* (Tesis de Magíster), Universidad de Talca (Chile). Escuela de Ingeniería Forestal., Recuperado de http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/9716/2/von%20bennewitz_alvarez.pdf
- Whittaker, R. (1972). *Evolution and measurement of species diversity.* Amsterdam, Países Bajos: Taxon.
- Zamora, Massiel. (2010). *Caracterización de la flora y estructura de un bosque transicional húmedo a seco, Miramar, Puntarenas, Costa Rica.* (Tesis de licenciatura), Instituto tecnológico de Costa Rica. Puntanares, Costa Rica, Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3017/Informe_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Apéndices

Apéndice 1. Fotografías de la socialización del trabajo a realizar en campo con los presidentes de junta de acción comunal de las veredas del municipio de San Miguel.



Apéndice 2. Establecimientos de subparcelas.



Apéndice 3. Medición de diámetro de copa, diámetro y altura de los árboles.



Apéndice 4. Recolección de muestras botánicas.



Apéndice 5. Fotografías de la Zona de estudio.



Apéndice 6. Colecta de especies en campo para su clasificación taxonómica.



Apéndice 7. *Annona cherimola* Mill. (Chirimoyo).



Apéndice 8. *Baccharis macrantha* Kunth. (Chilco).



Apéndice 9. *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. (Cedro).



Apéndice 10. *Croton draco* Schltl. (Sangregado).



Apéndice 11. *Cyathea caracasana* (Klotzsch) Domin (Aguaco).



Apéndice 12. *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (Hayuelo).



Apéndice 13. *Escallonia paniculata* (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult. (Tobo).



Apéndice 14. *Ficus caucana* Dugand (Higuerón).



Apéndice 15. *Ficus soatensis* Dugand (Uvo).



Apéndice 16. Guazuma sp. (Guácimo blanco).



Apéndice 17. *Inga* sp. (Guamo pequeño).



Apéndice 18. *Magnolia espinalii* (Lozano) Govaerts (Hojarasco).



Apéndice 19. *Mauria heterophylla* Kunth (Cornecabro).



Apéndice 20. *Miconia dodecandra* Cong. (Morcate).



Apéndice 21. *Miconia* sp. (Tuno).



Apéndice 22. *Miconia asperima* Triana. (Melastomataceae).



Apéndice 23. *Myrcia* sp. (Sururo).



Apéndice 24. *Palicourea* sp. (Especie 1).



Apéndice 25. *Palicourea angustifolia* Kunth (Tinto).



Apéndice 26. *Piper peltatum* L. (Cordoncillo).



Apéndice 27. Piper sp. (Cordoncillo blanco).



Apéndice 28. *Pistacia terebinthus* L. (Trementino).



Apéndice 29. *Magnolia* sp. (Chicharrón).



Apéndice 30. *Toxicodendron striatum* (Ruiz & Pav.) Kuntze. (Sarno).



Apéndice 31. *Triumfetta* sp. (Especie 2).