UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Caracterización de aspectos florísticos, estructurales y de la dinámica de los bosques de Roble Negro (*Trigonobalanus excelsa*) en la Serranía de Peñas Blancas, Huila

Eduar Alexander Pardo Vargas
20152010052
Valentina Munar Torres
20162010030

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Ingeniería Forestal

Bogotá D.C.
2024

Caracterización de aspectos florísticos, estructurales y de la dinámica de los bosques de Roble Negro (*Trigonobalanus excelsa*) en la Serranía de Peñas Blancas, Huila

Eduar Alexander Pardo Vargas
20152010052
Valentina Munar Torres
20162010030

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingenieros Forestales

Director:
Dr. Edgar Andrés Avella Muñoz
Codirector:
MSc. Cesar Augusto Parra Aldana

Evaluador: Dr. Edgar Ernesto Cantillo Higuera

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Ingeniería Forestal
Bogotá D.C.
2024

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al docente Andrés Avella Muñoz y al ingeniero forestal César Augusto Parra Aldana por su constante apoyo y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto. También extendemos nuestra gratitud al grupo de investigación SIRE y al docente Edgar Ernesto Cantillo Higuera por su valiosa orientación en el proyecto y su apoyo como director del semillero de investigación.

Agradecemos a la Fundación Franklinia y a la Universidad del Rosario por permitirnos desarrollar la tesis en el marco del proyecto "*Conservación in situ de árboles amenazados en Colombia. Enfoque en especies endémicas y en peligro de extinción de la familia Fagaceae, taxón prioritario: Trigonobalanus excelsa*",. A los docentes y compañeros de la carrera que nos brindaron su apoyo y aclararon nuestras dudas durante el desarrollo de la investigación.

Finalmente, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestros padres por su incondicional apoyo durante todo nuestro proceso de formación.

Tabla de contenido

1. **RESUMEN** 5
2. **ABSTRACT** 5
3. **INTRODUCCIÓN** 6
4. **ESTADO DEL ARTE** 9

Robledales 9

Usos 11

Distribución 11

Distribución diamétrica 11

Estructura horizontal 12

Abundancia 12

Frecuencia 12

Dominancia 12

Dinámica poblacional 13

Mortalidad 13

Reclutamiento 13

Crecimiento del bosque 13

5. **ANTECEDENTES** 13
6. **OBJETIVOS** 15

GENERAL 15

ESPECÍFICOS 15

7. **METODOLOGÍA** 15

Área de estudio 15

Recenso de parcelas antiguas 16

Composición florística y estructural del bosque 18

Índice de Valor de Importancia (IVI) 18

Distribución diamétrica 19

Distribución de alturas 19

Distribución del área basal 19

Dinámica del bosque 20

Incremento diamétrico 20

Mortalidad 20

Reclutamiento 21

8. **RESULTADOS** 22

Composición florística 22

Caracterización estructural del bosque 22
Índice de Valor de Importancia (IVI) 24
Dinámica del bosque 29
9. DISCUSIÓN 32
10. CONCLUSIONES 36
12. BIBLIOGRAFÍA 37

Lista de tablas

Tabla 1. Altura, área basal y volumen por parcela. 26
Tabla 2. Incremento diamétrico de T. excelsa en el DRMI Serranía Peñas Blancas. 30
Tabla 3. Tasa anual y coeficiente de mortalidad exponencial del bosque de *T. excelsa* en el DRMI Serranía Peñas Blancas. 31
Tabla 4. Tasa anual y coeficiente de reclutamiento exponencial del bosque de *T. excelsa* en el DRMI Serranía Peñas Blancas. 32

Lista de figuras

Figura 1. Localización Serranía Peñas Blancas. 16
Figura 2. Marcación de parcelas 17
Figura 3. Abundancia relativa (%) de las 7 especies con mayor IVI del bosque. 22
Figura 4. Frecuencia relativa (%) del bosque de roble. 23
Figura 5. Dominancia relativa (%) del bosque de *T. excelsa*, ... 23
Figura 6. Índice de Valor de Importancia para el robledal. 24
Figura 7. Distribución diamétrica del robledal. 25
Figura 8. Modelo de ecuación de Harris para el robledal. 25
Figura 9. Distribución altimétrica del robledal. 26
Figura 10. Distribución de área basal del bosque de roble negro. 27
Figura 11. Distribución de área basal acumulada del bosque de roble negro muestreado. 28
Figura 12. Distribución volumétrica del bosque de roble negro. 28
Figura 13. Distribución de área basal acumulada por clases diamétricas del bosque de roble negro. 29
Figura 14. Madera de los árboles talados. 31

1. RESUMEN

El presente estudio pretende mostrar aspectos de la composición florística, estructural y de la dinámica de los bosques de Roble Negro, con el objetivo de generar información para proponer planes de conservación del bosque localizado dentro del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Serranía de Peñas Blancas en el Sur del Huila. Para ello se recensaron nueve parcelas permanentes de monitoreo y se establecieron 17 parcelas permanentes nuevas de 0,1 ha, para un total de 26 PPM con las cuales se realizó la caracterización de aspectos de la composición florística y la estructura de bosques de Roble Negro. Se encontraron en promedio 57 individuos con 10 cm de DAP en 0.1 ha, los cuales acumulan en promedio 3.94 m^2 de área basal y 81.33 m^3 de volumen total. De acuerdo al Índice de Valor de Importancia (IVI) *Trigonobalanus excelsa* es la especie más importante con 55,5%, seguida de *Alfaroa williamsii* con 3.7%. La distribución diamétrica presentó un comportamiento en forma de "J" invertida donde los individuos se concentran en las clases con menor DAP. En comparación con otros bosques de roble negro de Colombia, el número de individuos encontrados está dentro del rango de los valores promedio, al igual que el área basal y el volumen.
Con los datos obtenidos de las parcelas establecidas en años anteriores, se determinó una tasa de mortalidad de 1,5% la cual se encuentra dentro de valores normales para bosques tropicales; la tasa de reclutamiento fue de 0,6%, con un bajo porcentaje de ingresos a las categorías de árboles adultos, que genera un desequilibrio dinámico en el bosque debido al sert mayor la mortalidad que el reclutamiento de árboles. Además, los árboles de *T. excelsa* presentaron un incremento diamétrico anual de 0,27 cm.

2. ABSTRACT

This study aims to present aspects of the floristic composition, structural characteristics, and dynamics of Black Oak forests, with the objective of generating information to propose conservation plans for the forest located within the Serranía de Peñas Blancas Integrated Management District (IMD) in southern Huila. To this end, nine existing permanent monitoring plots were surveyed and 17 new permanent plots of 0.1 ha each were established, resulting in a total of 26 Permanent Monitoring Plots (PMPs). These plots were used to characterize aspects of the floristic composition and the structure of Black Oak forests. On average, 57 individuals with a Diameter at Breast Height (DBH) of 10 cm were found in 0.1 ha, accumulating an average of 3.94 m^2 of basal area and 81.33 m^3 of total volume. According to the Importance Value Index (IVI), *Trigonobalanus excelsa* is the most important species with 55.5%, followed by *Alfaroa williamsii* with 3.7%. The diameter distribution showed an inverted "J" shape, with individuals concentrated in the smaller DBH classes. Compared to other Black Oak forests in Colombia, the number of individuals found is within the average range, as are the basal area and volume.

Using data from plots established in previous years, a mortality rate of 1.5% was determined, which is within normal values for tropical forests; the recruitment rate was 0.6%, with a low percentage of individuals reaching adult tree categories, creating a dynamic imbalance in the forest due to higher mortality than recruitment. Additionally, *T. excelsa* trees exhibited an annual diameter increment of 0.27 cm.

3. INTRODUCCIÓN

En Colombia existe poca información e investigación acerca de las poblaciones de *T. excelsa*, de su desarrollo y de su estado actual (Parra et. al, 2011). El primer registro del género *Trigonobalanus* en Colombia se realizó en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos en 1979, a 1800 m.s.n.m. en el municipio de Acevedo, departamento del Huila. El hallazgo de esta especie localmente conocida como "roble morado", llamó la atención de la comunidad científica, ya que este género se había registrado para ese entonces únicamente en el sudeste asiático con dos especies, pero con una distribución altitudinal distinta. Este descubrimiento permitió abrir un amplio debate relacionado con la biogeografía de las especies y en particular de los robles. Los primeros aspectos ecológicos y botánicos fueron descritos por Lozano et *al.* (1979).

Debido a que la especie se encuentra distribuida en una zona de extensa actividad agropecuaria de la cordillera de los Andes ha presentado una reducción de sus poblaciones por interferencia antrópica, lo que hace que el problema de fragmentación vaya en aumento y que a su vez afecte directamente los procesos de regeneración de la especie provocando la disminución poblacional (Moreno, 2014). A la fecha no se conoce y no se encuentran estudios de la distribución real de la especie *T. excelsa* en el país, ni el impacto que tiene la deforestación en la región premontana que haya afectado la distribución de esta.

A pesar de su poco conocimiento y estudio técnico, Cárdenas & Salinas (2007) clasificaron *T. excelsa* como especie Vulnerable, esto debido a que su extensión en el país correspondió aproximadamente a 1.100 km^2 los cuales se encontraron en continua degradación. Se describió la especie como endémica y su registro en ese momento relacionó únicamente tres zonas del país: el Parque Nacional Natural Los Farallones de Cali y la zona cercana del municipio de Jamundí (Valle del Cauca), el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos (Huila) y el corregimiento de Virolín del municipio de Charalá (Santander) en un del rango altitudinal de 1500 a 2200 m.

De acuerdo con Botero et *al.*, (2010) en el plan de conservación para la especie amenazada *T. excelsa*, el departamento del Huila conservaba el 25,4% del total de ecosistema de robledales del país. Debido a la fragmentación y la transformación del bosque, por medio de análisis multitemporal realizado por el IDEAM, se registró un incremento en la tasa anual de deforestación del bosque natural de 1.019 a 1.930 hectáreas entre los años 1986-1996 y 1996-2003. La cobertura de bosque Andino se ha visto altamente transformada y anualmente el bosque ha sido sustituido por cobertura de agro ecosistemas de cultivos como café, maíz y frijol; esta deforestación no se ve reflejada únicamente por la sustitución y/o reemplazo de cobertura, sino también por la tala selectiva de árboles para suplir la exigencia del tutorado y emparrado de algunos cultivos en los cuales la madera de *T. excelsa* cumple con las características solicitadas para cultivos como granadilla y mora (Parra, et al, 2011). De acuerdo con lo anterior, *T. excelsa* ha sufrido procesos de degradación y representa en gran medida el mayor porcentaje de la deforestación en el departamento del Huila, para lo cual el Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP) recomendó implementar estrategias para garantizar que los propósitos de conservación se cumplieran.

Parra et *al.*, (2011) formularon el "Plan de Conservación para la especie amenazada roble negro en los ecosistemas de interés del departamento del Huila" en el cual indicaron que el bosque de roble negro se encuentra en áreas de reserva forestal de la ley 2 de 1959, en áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y en áreas privadas, donde se requiere garantizar la viabilidad de las poblaciones.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) expidió la resolución 1912 del 15 de septiembre de 2017 "*Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones*", en la cual se encuentra el Roble Negro (*Trigonobalanus excelsa*) basiomino de (*Colombobalanus excelsa*) en la categoría de vulnerable.

Según la CAM (2019), en el Plan de Conservación del Roble Negro, el departamento del Huila ha desarrollado distintas medidas de conservación para la especie, en las cuales se encuentra la declaración y administración de áreas protegidas nacionales y regionales, también estrategias de conservación privadas en reservas naturales de la sociedad civil, así como en el Parque Natural Regional Corredor Biológico Guacharos Puracé y el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Serranía de Peñas Blancas, en los cuales *T. excelsa* es objeto de conservación.

Actualmente, el Roble Negro (*T. excelsa*) es una especie catalogada En Peligro (EN) de extinción de acuerdo con los criterios de la UICN B2ab (III, V), según evaluación del 20 de septiembre de 2018 a nivel global (Aguirre et *al.*, 2020). De acuerdo con los criterios, se hace referencia a: **B2** área de ocupación menor a 500 km^2 ; **a** se refiere a el hábitat severamente fragmentado o menor o igual a 5 localidades; **b** expresa la disminución continúa observada estimada, inferida o proyectada en área, extensión y/o calidad del hábitat **(III)** y número de individuos maduros **(V)**. Esto debido a que durante años ha sido objeto de tala selectiva para aprovechamiento de su madera por parte de las comunidades adyacentes a los fragmentos de bosque donde se encuentra, que añadido a actividades agropecuarias ha llevado a restringir el área de ocupación de la especie a menos de 500 km^2 (Aguirre et *al.*, 2020); también dadas las características de su madera para ser usada como materia prima ya que puede alcanzar una altura entre 20 y 40 metros, con un fuste recto y puede llegar a medir hasta un metro o más de diámetro a la altura del pecho (Aguirre & Botero, 2018). *T. excelsa* no cuenta con información acerca de su comercialización en el país, pero se sabe que el material obtenido de esta especie se comercializa en algunos depósitos de madera en forma de vigas de 6 m de longitud, también como postes y columnas, pero esto se hace de forma clandestina debido a los controles ejercidos por las autoridades y por este motivo la madera se mueve escondida entre grupos de madera de otras especies buscando pasar desapercibida para los medios de control (Botero et. al, 2010).

En el departamento del Huila, se ha declarado en veda regional a través del Acuerdo 009 de 2018 emitido por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), en la cual se prohíbe su transporte, comercialización y aprovechamiento. Teniendo en cuenta lo anterior,

y según CAM (2021), la tala indiscriminada de *T. excelsa* se da debido a la naturaleza de su madera, en algunos casos, y se realiza de forma clandestina de forma tal que las autoridades competentes que realizan la prohibición de estas prácticas no puedan percatarse de los hechos. Sin embargo, la tala de *T. excelsa* no se realiza únicamente con el propósito de extracción de madera con el objetivo de comercialización, sino que en su mayoría se hace con el fin de expandir la frontera agropecuaria.

Parra (2011) realizó una investigación sobre la ecología de la germinación y crecimiento de las plántulas de *T. excelsa*, además estudió la fenología y crecimiento del bosque de robledal negro en los departamentos de Santander y Huila, encontrando una distribución del bosque en forma de "J" invertida en ambas poblaciones; también estudió la germinación de las semillas de *T. excelsa* mediante la recolección de estas en el bosque, cuyo resultado de germinación fue muy bajo (alrededor del 7%) lo que puede poner en riesgo la persistencia de los bosques y sugiere que es indispensable realizar manejo y conservación del bosque de *T. excelsa*.

De acuerdo con el IAVH (2017) dentro del DRMI Peñas Blancas se encuentran ocho especies de flora amenazadas o casi amenazadas de extinción, algunas catalogadas dentro de la UICN, libro rojo y resolución 1912 de 2017 y por las CITES. Dentro de estas especies se encuentra el Roble Colombiano (*Quercus humboldtii*), caracolí (*Anacardium excelsa*), Cedro (*Cedrela odorata*), Nogal (*Juglans neotropica*), Terminalia (*Terminalia ivorensis*), cedro de tierra fría (*Cedrela montana*), Laurel (*Aniba perutilis*) y Roble negro (*T. excelsa*). Se conoce que los pocos remanentes de áreas boscosas que aún persisten dentro de la Serranía Peñas Blancas corresponden a comunidades de *T. excelsa* con individuos aislados correspondientes al Roble Blanco (*Q. humboldtii*). Dentro del DRMI solo el 31% mantiene las coberturas naturales que en su mayoría corresponde a *T. excelsa*. Es por ello que se hace necesario continuar con la ejecución del plan de manejo y conservación del Roble Negro, continuando con el proyecto iniciado por la Universidad del Rosario, la Fundación Franklinia, La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con el cual buscan fortalecer la red de parcelas permanentes para el monitoreo del bosque de Roble Negro con el objetivo de contribuir a las iniciativas de conservación centradas en la especie.

El presente estudio se enfoca en la caracterización estructural y florística del bosque de roble negro (*T. excelsa*) en la Serranía de Peñas Blancas, ubicada en el Macizo Colombiano, departamento del Huila, Colombia. Esta área, declarada como Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) y con una extensión protegida de aproximadamente 32,793 hectáreas, alberga bosques premontanos significativos, principalmente de roble negro. El estudio se llevó a cabo mediante el recenso de parcelas antiguas establecidas desde 2009 y la creación de 17 parcelas nuevas entre 2022 y 2023, abarcando una amplia variedad de veredas en varios municipios del Huila. La medición de la estructura y composición del bosque se realizó mediante datos dasometricos recopilados en cada parcela, lo que permitió una caracterización integral de la vegetación presente. Así mismo esta investigación busca comprender aspectos básicos de la dinámica de los bosques de Roble Negro (*T. excelsa*), haciendo una aproximación a las tasas de crecimiento, mortalidad y reclutamiento a partir de los datos obtenidos en las parcelas permanentes de monitoreo, con el fin de generar insumos técnicos para la formulación de estrategias de manejo y conservación de estos bosques en la región.

Sumado a lo descrito por Parra (2011), se infiere que el método más eficaz para conservar esta especie es realizando conservación *in situ*, con el objetivo de preservar los ecosistemas en los cuales se encuentra la especie. La regeneración natural que se puede apreciar en campo es poca por lo que se propone incentivar el enriquecimiento mediante plántulas de la especie en áreas que se encuentren degradadas además de desarrollar programas de propagación con jardines botánicos (CAM, 2019). Es por ello que la Fundación Franklinia está desarrollando un proyecto titulado "*Conservación in situ de árboles amenazados en Colombia. Enfoque en especies endémicas y en peligro de extinción de la familia Fagaceae, taxón prioritario: Trigonobalanus excelsa*", cuyo objetivo es "fortalecer la red de parcelas permanentes para el monitoreo a largo plazo de las poblaciones de *Trigonobalanus excelsa*, como mecanismo para contribuir a las iniciativas de conservación centradas en la especie", esto se realizó recuperando nueve (9) parcelas permanentes de monitoreo que fueron establecidas en el 2009, y estableciendo 17 parcelas nuevas en el área de distribución de *T. excelsa* dentro del DRMI Serranía de Peñas Blancas, con la meta de contribuir al análisis estructural y florístico del bosque de roble en el departamento del Huila. El presente trabajo de investigación se enmarca en el proyecto que está desarrollando la Fundación Franklinia con el objetivo de contribuir al estudio de la composición florística, estructural y dinámica de la especie, además del uso y manejo que se le está dando a la misma en las veredas en las cuales se encuentra *T. excelsa*.

4. ESTADO DEL ARTE

Robledales

Los Robledales son ecosistemas que se caracterizan por estar dominados por especies de la familia Fagaceae, estos tipos de bosque se encuentran alrededor del mundo. Según CAM (2019) los bosques de roble se distribuyen desde México, Centroamérica y alcanzan hasta los Andes al sur de las cordilleras de Colombia. En Colombia, específicamente en los bosques andinos, existe una de las formaciones más representativas que están dominadas por *Q. humboldtii* y *T. excelsa* y estas han sido ampliamente explotadas hasta el punto de que se encuentran en riesgo de extinción siendo catalogadas como vulnerables de acuerdo con los criterios de la UICN (Moreno, 2014).

En Colombia existen dos tipos de roble pertenecientes a la familia Fagaceae, el Roble negro (*T. excelsa*) y el Roble blanco (*Q. humboldtii*), estas dos especies conforman dos tipos de bosque denominados robledales. De acuerdo con Avella y Rangel (2017), este tipo de bosques se encuentran localizados en Colombia a lo largo de la región cordillerana. La asociación *Conceveibo-Colombobalanetea* más conocidos como robledales negros, se ubican en altitudes que oscilan entre 1337 y 2166 m, con climas húmedos y subhúmedos en los departamentos de Bolívar, Santander, Huila y Valle del Cauca; estos bosques se caracterizan por tener una alta dominancia y biomasa y una riqueza menor en comparación con las asociaciones de robledal dominado por *Quercus humboldtii* (Billio-Quercetea y Myrsino- Quercetea).

Los robles son árboles de hojas simples, con estipulas libres e interpeciolares, más o menos persistentes, margen aserrado o serrulado en el tercio superior, con flores unisexuales, la

masculina es subrecta, axilar, tomentosa y dispuesta en la parte baja de la inflorescencia femenina; la inflorescencia femenina es una panícula ramificada con flores sésiles dispuestas en cúpulas (Botero et *al.*, 2010).

Los robledales conformados por las dos especies anteriormente referidas hacen parte de los bosques Andinos, estos son hotspots de biodiversidad debido a su endemismo y riqueza de especies, lo que ha provocado que el ser humano haya intervenido fuertemente en los mismos ejerciendo presión como la deforestación, ampliación de la frontera agrícola y agropecuaria, desarrollo urbano, extracción y saqueo de madera. Estos cambios en las coberturas del bosque se traducen a un proceso de fragmentación cuya consecuencia es la formación de parches de bosques de distintos tamaños aislados entre sí afectando la estructura, composición, distribución y funcionamiento de la vegetación. Esta fragmentación puede llegar a afectar comunidades vegetales de especies endémicas con distribuciones restringidas (Aguirre & Botero, 2018), como por ejemplo los bosques de roble que se encuentran en el sur del departamento del Huila, los cuales se distribuyen desde bosques sub andinos a unos 1400 msnm y puedes llegar hasta los 2800 m en bosques andinos y alto andinos. De esta forma se pueden identificar varias comunidades que van desde formaciones homogéneas que llegan a ser dominadas por las especies de Roble hasta zonas heterogéneas donde la dominancia es en mayor medida de especies de laureles (Parra et *al.*, 2011).

Roble Negro: taxonomía
Familia: Fagaceae
Género: Trigonobalanus
Especie: *Trigonobalanus excelsa* G. Lozano C., Hern. Cam. & Henao, Jesús Eugenio
Sinónimo: *Colombobalanus excelsa* (Lozano, Hern. Cam. & Henao S.) Nixon & Crepet
Nombres comunes: Roble negro, roble morado, roble rosado, robla

El Roble Negro (*Trigonobalanus excelsa* G. Lozano C., Hern. Cam. & Henao, Jesús Eugenio), es un árbol endémico de los bosques premontanos andinos de Colombia que se encuentra a una altitud de 1650 a 2100 m.s.n.m. en los departamentos de Antioquia, Valle, Boyacá, Santander, Huila (Bernal, 2015). De acuerdo con Aguirre et *al.*, (2020) esta especie se encuentra catalogada en peligro según la UICN.
La especie *T. excelsa* es un árbol que posee inflorescencias masculinas en forma de amentos dicasiales y multifloras axiales de 13 y 18 cm, mientras que las inflorescencias femeninas se disponen en panículas terminales de 13 cm aproximadamente; sus frutos son trígonos y tienen una cúpula valvada que envuelve parcial y usualmente en grupos de tres semillas tricosadas (Avella & Rangel, 2017). Las semillas son dispersadas por la gravedad, esto se ve afectado por acción de los animales frugívoros que desprenden los frutos. La germinación de las semillas se da de forma epigea o fanerocotilar (Parra et *al.*, 2011). Puede alcanzar de 20 a 40 metros de altura, posee una copa globosa y fuste recto con una medula de color negro, generalmente poseen más de un metro de DAP. Según Dávila et *al.*, (2012) se desarrolla en una temperatura media anual de 15,4°C y una precipitación promedio de 2996 mm al año, además esta especie crece en bosques nublados y luminosos. La humedad relativa mensual en la cual se desarrolla corresponde a un porcentaje entre 86% y 92%, en climas húmedas y

subhúmedos que distinguen por poseer una menor riqueza y dominancia y biomasa mayor (CAM, 2019).

Fenología de *Trigonobalanus excelsa*

De acuerdo con Botero et *al.,* (2010) *T. excelsa* adquiere nuevo follaje en los meses de mayo, junio y julio y hacia finales de agosto inicia la floración. Esta especie presenta una pérdida de follaje, es decir, es caducifolio, sin embargo, es menos intensa que en *Q. humboldtii*. En cuanto a la floración, este proceso es más prolongado en comparación con *Q. humboldtii*. Hacia finales de octubre y comienzos de noviembre se evidencia el proceso de fructificación y en diciembre generan nuevamente flores.

Usos

La madera de *T. excelsa* se usa en la fabricación de tablillas para la construcción de tejados de viviendas, obtención de vigas y columnas, postes para el tutorado de cultivos como la granadilla, pitahaya y maracuyá, y postes para el mantenimiento de cercas.

Otro uso conocido es la producción de leña y carbón para combustible. Además, la corteza de se usa en procesos artesanales de curtido de cueros y en medicamentos caseros, aplicados externamente para curar heridas o como tratamiento para afecciones del corazón (CAM, 2020). Según Botero et *al.,* (2010) la comunidad asentada en las zonas donde se encuentra *T. excelsa* en el departamento del Huila hace referencia a procesos de extracción por parte de empresas forestales hacia los años 70's y 80's para obtener polines para la construcción de vías férreas.

Distribución

Los bosques de *T. excelsa* dentro del departamento del Huila se encuentran en una superficie total de 12.449 ha que comprenden 5 municipios, en donde el 55% de esta especie está en el municipio de Acevedo con un área de 6.821 ha, el 18% en Suaza (2.225 ha), el 13% en Palestina (1.587 ha), el 11% en Pitalito (1.367 ha) y 4% en Timaná (449 ha). Dentro de las áreas protegidas que conforman el SINAP, que incluyen bosques de *T. excelsa* corresponde a 6.774 ha, distribuidas así: en el DRMI Serranía de Peñas Blancas existen 3.549 ha, en el PNR Corredor Biológico Guacharos-Puracé 2.294 ha, en PNN Cueva de los Guácharos 595 ha y en el PNN Serranía de los Churumbelos – Awka Wasi 336 ha. El área restante que corresponde a 5.675 ha se encuentra por fuera de las figuras de protección existentes (Botero et *al.* 2010).

Distribución diamétrica

T. excelsa presenta una distribución diamétrica en forma de J invertida, lo cual es normal en bosques disetáneos donde se obtiene que los individuos de clases menores tienen una mayor abundancia que los individuos de clases mayores, es decir, con mayor diámetro. Este comportamiento garantiza que, por una alta cantidad de individuos en clases inferiores, los individuos de mayor tamaño puedan ser reemplazados cuando haya pérdidas por muerte o extracción (CAM, 2020).

Caracterización florística

De acuerdo con la actualización del plan de conservación de la especie *T. excelsa* realizada por la CAM (2020), existe una baja biodiversidad florística en los bosques de roble del sur del Huila, estos están determinados por una alta abundancia de pocas especies, como lo son el Roble Negro (*T. excelsa*) representando el 29,5% de la abundancia total de los individuos encontrados en las parcelas, seguido de (*Alfaroa* cf. *Colombiana*) con 14,7% y *Wettinia fascicularis* con 10,5% estas tres especies fueron las más representativas en las parcelas muestreadas, las demás especies aportan menos del 4% de la abundancia del robledal.

Los trabajos relacionados con la caracterización florística y estructural aportan información básica que contribuye a la formulación de prácticas silviculturales que permitan mejorar el manejo que se le ha dado a la especie a lo largo del tiempo para construir elementos relacionados a la conservación y restauración de los bosques de Roble Negro, de esta manera evitar la degradación y la progresiva extinción de la especie (Avella et *al.*, 2017).

Estructura horizontal

Abundancia

Se define como la magnitud que simbolizan los individuos de una especie en particular respecto al total de individuos en la comunidad. El patrón de abundancia relativa de una comunidad se representa gráficamente localizando las especies de mayor a menor según el número de individuos. "*El rango de una especie corresponde al lugar que ocupa en un ordenamiento desde la más abundante (especie de rango 1) a la menos abundante*". (EGE- IEGEBA, 2016). Es decir, la abundancia se refiere al número de individuos por especie.

Frecuencia

La frecuencia absoluta de un bosque hace referencia a la presencia o ausencia de una especie dentro de una parcela y la probabilidad de encontrar uno o más individuos dentro de una unidad de muestreo. Esta variable es un indicador que puede explicar la homogeneidad o heterogeneidad de un bosque. La frecuencia se puede expresar en porcentaje, el cual indicará el número total de parcelas en las que se encuentra la especie o individuo dentro de la unidad muestral (Beltrán & Rivera, 2011). La frecuencia brinda una aproximación sobre la homogeneidad de un bosque.

Dominancia

La dominancia absoluta se define como el grado de cobertura de las especies, es decir el área basal (G); esta se mide haciendo la sumatoria de las proyecciones basales sobre el suelo. Al igual que la abundancia y la frecuencia, esta se puede expresar en porcentaje y puede indicar la proporción de una especie en el área total muestreada (Beltrán & Rivera, 2011).

Índice de valor de importancia (IVI)

El IVI se compone de los parámetros pertenecientes tanto a la estructura vertical, como a la horizontal. De esta forma, el índice explica de una mejor forma la importancia fitosociológica

de cada especie presente en el área de muestreo evaluada. (Acosta et al., 2006).

Dinámica poblacional

Mortalidad

Se define como la muerte de los individuos en una población. La mortalidad se expresa como el número de muertes en un periodo de tiempo determinado. La mortalidad ecológica se refiere a la pérdida de los individuos de una población en unas condiciones ambientales específicas, esta difiere de la natalidad porque depende de los factores ambientales que influyen en la misma. La mortalidad mínima teórica se define como la pérdida que se da en condiciones no limitantes o ideales, además es una constante, es decir, que en toda población habrá muertes no sólo por los recursos sino también por la longevidad ecológica. (Odum, 1972)

Reclutamiento

El reclutamiento se denomina la propiedad de incremento inherente en una población; es equivalente al índice de natalidad el cual abarca la producción de nuevos individuos. La natalidad máxima es la producción máxima o límite superior teórico de individuos en una población con condiciones ideales, es decir, una constante en una población determinada. La natalidad ecológica o realizada se define como el aumento de una población que se encuentra en condiciones ambientales específicas; la natalidad puede variar según el volumen y la composición de la población además de las condiciones físicas del medio (Odum, 1972).

Crecimiento del bosque

Conocer el crecimiento del bosque es indispensable para tener una visión de la dinámica para de esta forma aprovecharlo y darle un manejo, según (Beltrán & Rivera, 2011) es importante conocer el crecimiento en los bosques debido a su gran utilidad para predecir y dar una estimación al rendimiento forestal, además da una visión sobre la demografía poblacional y la dinámica del bosque. Además, el crecimiento del bosque se puede expresar en diversas formas que permiten conocer la dinámica de este por medio de variables como la altura, el volumen, área basal, diámetro y copa, la magnitud de estas variables se denominan como incrementos que se pueden expresar como incremento corriente anual (ICA), incremento periódico anual (IPA). Cada una de estas variables dan a conocer una visión general del bosque que permite tomar decisiones en cuanto a aprovechamiento y conservación.

5. ANTECEDENTES

Aguirre y Botero (2018), en su estudio “Estructura poblacional y distribución espacial del Roble Negro (*Colombobalanus excelsa*, Fagaceae) en fragmentos de bosque andino colombiano” realizaron un análisis en cuatro fragmentos de bosque correspondientes a La Palma, La Marimba, Alto Santa Bárbara y Alto Bellavista ubicados en la parte más alta de la Serranía de Peñas Blancas. En este estudio encontraron 1228 individuos en los cuatro fragmentos de bosque que suman 1.6 ha. La densidad por hectárea de los individuos se midió por fragmento; en Alto Bellavista se tuvo en cuenta individuos con un DAP entre 1-280cm, la

densidad total del fragmento corresponde a 262.5 individuos por ha; en Alto Santa Bárbara los DAP se evaluaron entre 1-198.99cm con una densidad de 1265 individuos por hectárea; en la Palma se contó con categorías diamétricas entre 1-271.56cm con una densidad de 997.5 individuos por hectárea y finalmente en el sector de la Marimba, las categorías diamétricas se encontraron entre 1-178.72cm con 545 individuos por hectárea. A partir de los resultados, ellos observaron que, pese a que estos cuatro fragmentos de bosque pertenecen a una asociación de robledales, cada uno varía la densidad de los individuos por hectárea, esto se explica ya que existen distintos procesos de manejo asociado a intensidades de tala y extracción de madera.

Dávila et al., (2012), en un estudio sobre robledales del Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos y en sus zonas de amortiguación, determinaron que hay 2000 parches de Roble negro, distribuidos en ocho rodales. Solo uno está dentro del Parque Natural (28 ha), mientras que los otros siete están en la zona de amortiguación en áreas privadas. Se determinó que la densidad de individuos adultos es de 281 árboles/ha, el área basal comprende un total de 52,34 m^2/ha y un volumen total de 761,65 m^3/ha. Añadido a lo anterior, los autores identificaron que los individuos presentan una distribución de clases diamétricas en forma de "J" invertida, donde se presenta un número alto de individuos en las clases de menor tamaño. Con los resultados obtenidos se determinó que los bosques de Roble Negro están en reducción en las zonas adyacentes al Parque, lo cual se demuestra con la existencia de fragmentos que se encuentran rodeados por potreros y cultivos presentes en la zona.

Avella et *al.* (2017) hicieron una aproximación y descripción de aspectos florísticos y estructurales que componen el bosque de roble negro, además de caracterizar los gradientes ambientales en los cuales se desarrollan estos bosques. También describen las asociaciones frecuentes en 4 departamentos (Bolívar, Huila, Santander y Valle del Cauca) y 4 municipios dominados por *T. excelsa* en Colombia, donde se agrupan en la clase *Conceveibo pleiostemonae - Colombobalanetea excelsae y el orden Dictiocaryo lamarckiani-Colombobalanetalia excelsae.* Este estudio evidencia que, en la clase y el orden anteriormente mencionadas, la especie con el mayor valor de IVI en este tipo de bosque en los estratos arbóreos fue *Colombobalanus excelsa*, después se encuentran las especies *Dictyocaryum lamarckianum* y *Alfaroa williamsii*.

Moreno (2014) encontró una distribución en forma de J invertida para los bosques de *C. excelsa* en el robledal Parque Nacional Natural Farallones de Cali, evidenciando mayor abundancia en las primeras clases diamétricas menores de 9.99 cm y menor cantidad de especies en las clases de mayor DAP, características propias de bosques secundarios. Además, encontró que el mayor IVI fue de *C. excelsa* con un 45%.

El DRMI Serranía de Peñas Blancas en donde se realizó el presente proyecto, se declaró área protegida mediante el acuerdo 003 de 2018 expedido por la CAM abarcando un sistema montañoso derivado de la cordillera oriental que hace parte de Macizo Colombiano, en territorio de los municipios de Palestina, Acevedo, Pitalito, Timaná y Suaza. El DRMI cubre una superficie de 32.793,21 hectáreas que alberga una gran biodiversidad compuesta por bosques de *T. excelsa* y protege el recurso hídrico que abastece gran parte de la región sur del

departamento del Huila y sostiene la región más productora de café en Colombia (CAM, 2020).

González et *al.* (2007) describieron los bosques ubicados en el Corredor biológico entre los Parques Nacionales Naturales Cueva de los Guácharos y Puracé, en el sur del departamento del Huila. En donde encontraron que la comunidad de *Quercus humboldtii* y *Wettinia fascicularis* estaba conformada por estas dos especies, con la presencia de *C. excelsa*. La diversidad de esta comunidad se ve reflejada en 169 individuos y 40 especies por cada 0.1 ha, presentando 65 individuos la familia Arecaceae y 32 individuos la familia Fagacea. Las dos especies que dominan la comunidad son *Q. humboldtii* y *C. excelsa* presentando un área basal de 7.34 y 4.6 m^2 respectivamente en comparación con *W. fascicularis* que presenta 0.34 m^2. Con respecto al Índice de Valor de Importancia de estas especies se tiene como resultado 24% para *Q. humboldtii*, 20% para *W. fascicularis* y 16% para *C. excelsa*.

Como aporte, el presente trabajo de investigación realizará estudios que contribuyan al conocimiento sobre la dinámica, estructura y potencialidades de estos bosques, con el fin de aportar insumos para la formulación de medidas de conservación efectivas.

6. OBJETIVOS

GENERAL

Caracterizar aspectos florísticos, estructurales y de la dinámica de los Bosques de Roble Negro (*Trigonobalanus excelsa* G. Lozano C., Hern. Cam. & Henao, Jesús Eugenio) localizados en el Distrito Regional de Manejo Integrado Serranía de Peñas Blancas.

ESPECÍFICOS

1. Definir las características florísticas y estructurales de los bosques de Roble Negro localizados en el DRMI Serranía Peñas Blancas
2. Cuantificar las tasas de mortalidad, reclutamiento e incremento diamétrico del bosque de Roble Negro.

7. METODOLOGÍA

Área de estudio

La Serranía de Peñas Blancas se encuentra ubicada en el Macizo Colombiano, y corresponde a un sistema montañoso derivado de la cordillera oriental que transcurre en dirección sur nor-oriente y que permite la conformación de las Subzonas hidrográficas del río Guarapas y río suaza en la cuenca alta del río Magdalena. En la serranía se encuentran importantes áreas cubiertas por bosques premontanos correspondientes principalmente a bosques de roble negro, que quedaron cobijados por una figura de conservación de carácter regional como Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI), y se localiza entre los 6°3’12” Norte y 73°4’12” Oeste con una extensión declarada como área protegida de 32.793 ha, y una altitud de 1834 y 2099 m.s.n.m. El DRMI Serranía de Peñas Blancas abarca los municipios de Acevedo, Altamira, Palestina, Pitalito, Suaza y Timaná, departamento del Huila en jurisdicción de la Corporación

Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) (Figura 1), donde presenta una gran importancia debido a su conectividad con otras áreas protegidas, entre ellas el Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos (MADS, 2018).

El DRMI Serranía Peñas Blancas tiene una precipitación media anual de 1249 mm, presenta un régimen con tendencia monomodal y la temperatura media anual es de 20,6°C (IavH, 2005) La clasificación de acuerdo a la zona de vida según Holdridge corresponde a bosque húmedo premontano (bh-PM). Se encuentra en un sistema montañoso compuesto de rocas sedimentarias conformadas por areniscas, arcillas rojas y grises, conglomerados y aglomerados con acumulación de cenizas volcánicas (Cárdenas *et al*. 2002), lo cual ha originado suelos con características franco-arcillo-arenosos en laderas de gran tamaño y pendientes pronunciadas (Parra *et al.* 2011).

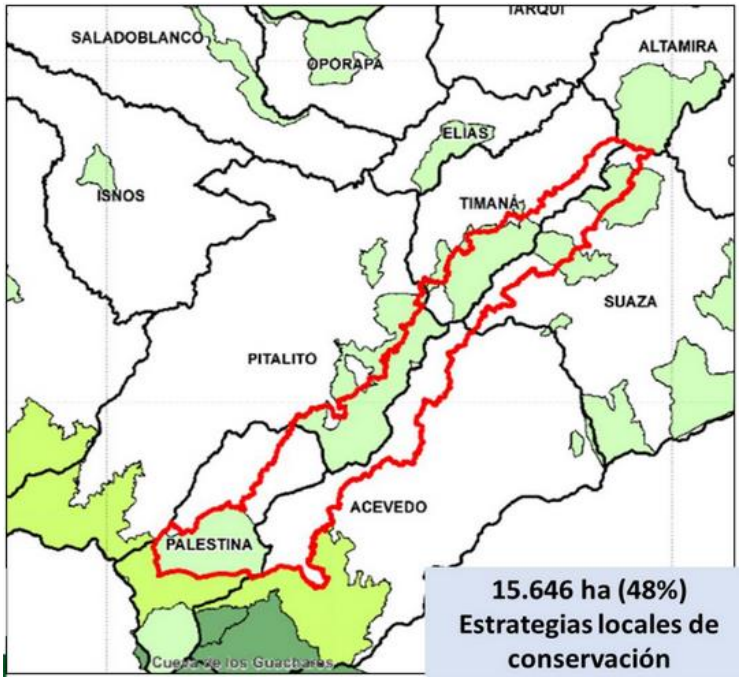

Figura 1. Localización Serranía Peñas Blancas.
Fuente: CAM (2020).

Recenso de parcelas antiguas

Para analizar la estructura y composición del bosque de robledal negro en la Serranía Peñas Blancas, se tuvo en cuenta el censo de nueve parcelas permanentes para monitoreo establecidas desde los años 2009 y 2010, en las cuales se tomaron datos dasometricos de los individuos con un DAP ≥ 10 cm, en los años 2009, 2010, 2011, 2013 y 2022 – 2023. Esto se realizó con el fin de hacer una caracterización florística, estructural y de la dinámica de los bosques existentes.

Se utilizaron nueve parcelas previamente establecidas en las veredas Alto-Santa Bárbara (tres parcelas) en Timaná; San Isidro (una parcela), La Palma (dos parcelas), Villa Fátima (dos parcelas) en Acevedo; y Divino Niño (dos parcelas) en Pitalito. Dentro de estas nueve parcelas se hizo en primera instancia corrección de dimensiones ya que, por el paso de los años, pueden tener cierto grado de error. Sus dimensiones corresponden a 50x20m, es decir, 0,1 hectáreas cada una, donde se midieron los fustales en el área total de cada parcela, para esto se realizó una división por subparcelas de la A hasta la J (Figura 2), cada una de ellas con dimensiones

de 10x10m y se nombraron como se muestra en la figura 4, cada subparcela se dividió de forma similar a un plano cartesiano desde el cuadrante I hasta el IV, en ese orden se midieron los fustales, de tal manera que cada individuo se pueda ubicar espacialmente en un plano y con un único código de identificación que consta del lugar (H) Huila, identificación de la parcela con su respectivo número si es nueva (N) o antigua (T), nombre de subparcela (A-J), número de cuadrante (I - IV) y número del árbol. Cuando se encontró un mismo árbol con bifurcaciones con una altura mayor a 1,30m se nombró el mismo árbol con letras del abecedario, es decir 1a y 1b. También se midió la altura del 20% de los individuos muestreados haciendo uso del clinómetro Suunto Tandem, el cual arrojó dos ángulos respecto a la horizontal (positivo apuntando a la copa, negativo apuntando a la base del árbol) y tomando la distancia que había entre el individuo que hace la medición de la altura y el árbol (Fundación Franklinia, 2022).

Las parcelas de medición se establecieron de 50x20m en vez de 100x10m debido al alto grado de fragmentación de los bosques censados, ya que los fragmentos llegaron a ser tan pequeños que en ocasiones las parcelas de 100 metros de longitud alcanzaban a abarcar lugares fuera del fragmento boscoso como cultivos y zonas sin bosque (Figura 2).

A	B	C	D	E
J	I	H	G	F

Figura 2. Marcación de parcelas

Establecimiento de parcelas nuevas

Dentro del proyecto de conservación in situ de árboles amenazados en Colombia se propuso incluir 17 parcelas permanentes de monitoreo nuevas cuyas dimensiones y método de medición fueron iguales a las anteriormente descritas. La medición del diámetro de los fustales se realizó con ayuda de una cinta métrica midiendo el perímetro de estos. Cada individuo se marcó con pintura amarilla con su respectiva numeración y la altura a la cual se le midió el DAP (1.30m).

Estas 17 parcelas permanentes se establecieron entre los años 2022 y 2023 en los municipios mencionados. Las veredas que se muestrearon para las nuevas parcelas corresponden a Alto Santa Bárbara (tres parcelas) en el municipio de Timaná; Villa Fátima (una parcela), Brisas (tres parcelas) y La Ilusión (una parcela) en Acevedo; Resinas (dos parcelas), Honda Porvenir (tres parcelas), Santa Rita (dos parcelas) en Pitalito; y Olivos (una parcela), y Jericó (una parcela) en Palestina. (Fundación Franklinia, 2022).

Una vez establecidas las parcelas se plasmaron los datos registrados en campo en formatos físicos donde se incluyó información general del sitio muestreado como la fecha, municipio, vereda, coordenadas geográficas de la esquina superior izquierda de la subparcela A y su respectiva altitud.

Composición florística y estructural del bosque

Siguiendo la metodología de Cantillo et al. (2004) y Avella et al., (2017) teniendo los datos del robledal negro, se realizó el análisis de la estructura del bosque teniendo en cuenta la distribución del número de individuos, el diámetro, el área basal, el incremento diamétrico, la altura y el volumen.

En cada levantamiento se censaron todos los fustales que tenían un Diámetro a la Altura del Pecho DAP mayor o igual a 10 cm. Se digitalizó la información tomada en campo y se realizó una depuración del listado de especies, unificando los nombres comunes y científicos haciendo uso del programa Microsoft Excel.

Índice de Valor de Importancia (IVI)

Para calcular el IVI se tomó en cuenta fustales cuyo diámetro es mayor o igual a 10 cm de DAP. Este índice se calculó mediante la sumatoria de la abundancia relativa (A%), la frecuencia relativa (F%) y la dominancia relativa (G%) de las especies muestreadas. Se empleó la siguiente ecuación:

$$IVI = A\% + F\% + G\%$$

La sumatoria del IVI tiene un valor máximo de 300, sin embargo, el valor usado fue el obtenido con la siguiente fórmula:

$$IVI\ (\%) = \frac{IVI\ x\ 100}{300}$$

El cálculo de la abundancia relativa se expresó mediante la siguiente ecuación

$$A\% = \frac{Aab\ Sp_i}{\sum Aab\ Sp_i} x\ 100$$

Donde $Aab\ Sp_i$ es la abundancia absoluta por especie, $\sum Aab\ Sp_i$ es la sumatoria de la abundancia absoluta de todas las especies y $A\%$ es la abundancia relativa.

También se calculó la frecuencia haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$F\% = \frac{Fab}{\Sigma Fab\ \ Sp_i} x100$$

Donde Fab es la frecuencia absoluta, $F\%$ corresponde a la frecuencia relativa y $\sum Fab\ Sp_i$ es la sumatoria de la frecuencia absoluta de todas las especies.

Por último, se calculó el área basal en metros cuadrados usando la fórmula

$$AB = \frac{\pi d^2}{40000}$$

Donde AB corresponde a área basal y d es el diámetro de la especie. Posteriormente, el área basal se empleó para calcular la dominancia de las especies en el bosque

$$G\% = \frac{Gab\ Sp_i}{\Sigma Gab\ \ Sp_i} x100$$

Donde $Gab\ Sp_i$ es la dominancia absoluta de cada individuo, $G\%$ corresponde a la dominancia relativa y $\sum Gab\ Sp_i$ es la sumatoria de la frecuencia absoluta de todas las especies.

Distribución diamétrica

Se realizó clasificación de los diámetros usando una amplitud de clase de 10 cm entre cada rango para fustales (DAP mayor o igual a 10 cm). La distribución diamétrica se calculó para el bosque en general y se tuvieron en cuenta las 17 parcelas nuevas y las 9 parcelas antiguas.

Distribución de alturas

Se realizó el cálculo de alturas agrupando los datos tomados en cada parcela, teniendo en cuenta tanto las parcelas permanentes que ya estaban establecidas como las parcelas que se establecieron recientemente. El cálculo de la altura para los individuos muestreados se realizó siguiendo la ecuación:

$$H = d\ \times\ tan(\alpha) + tan(\beta)$$

Donde H es la altura, d es la distancia entre el observador y el árbol, α ángulo 1 y β ángulo 2. Posteriormente, se calculó la altura de los individuos cuyos datos no fueron tomados en campo. Mediante el modelo exponencial ($H=a*DAP^b+c$) propuesto por Harris (Dávila et *al.*, 2012), en donde H es la altura total en metros, DAP es el diámetro a la altura del pecho en cm, a, b y c son parámetros del modelo. Se generó la ecuación de altura utilizando el software estadístico RStudio, se ajustó al modelo de Harris para estimar la altura de los árboles en función del DAP.

Por medio del software estadístico Rstudio usando la librería minpack. lm se hizo el ajuste de la ecuación de Harris:

$$H = 94.85002\ \times (DAP^{0.06993}) - 97.30697$$

Se realizó clasificación de los diámetros empleando la fórmula de Sturges para establecer los rangos, su amplitud fue de 2 m entre cada clase.

$$K = 1 + 3.3\log\,(N)$$

Donde:
K = Número de intervalos
N = Número de datos

Distribución del área basal

Partiendo de la información obtenida en campo se calculó el área basal mediante la siguiente ecuación

$$G = \frac{\pi}{4} \times (\frac{\boldsymbol{\emptyset}}{100})^2$$

Se realizó el cálculo del área basal para cada individuo muestreado, mediante la agrupación de las clases diamétricas se obtuvo la proporción del área basal para cada una de las categorías establecidas, esto se realizó por medio de la sumatoria del área basal.

Volumen

Para calcular el volumen de árboles en pie se utilizó la ecuación sugerida en la guía de cubicación de madera elaborada por Gutiérrez *et al.*, (2013).

$$V = \frac{\pi}{4} \times DAP^2 \times h_t \times f$$

Donde h_t corresponde a la altura total de los individuos y f es el factor forma de los árboles. Basado en lo descrito por Dávila et *al.* (2012), en donde determinaron que el factor forma de *T. excelsa* en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos es de 0,76, dato utilizado para calcular el volumen del bosque en el presente estudio.

Dinámica del bosque

Se realizó una aproximación al cálculo de las tasas de incremento diamétrico, reclutamiento y mortalidad con el objetivo de hacer un acercamiento a la dinámica que presenta el bosque de roble negro.

Incremento diamétrico

La tasa de incremento diamétrico se determinó calculando el índice periódico anual (IPA) con la siguiente ecuación

$$IPA = \frac{D_F - D_i}{t}$$

Donde D_F se refiere al diámetro al final del periodo, el D_i es el diámetro al inicio del periodo y t es el tiempo transcurrido desde la toma del dato inicial hasta la toma del dato final, este indica el crecimiento promedio por año dentro de un período de varios años (Aguirre et *al.*, 2022). El primer año de toma de datos corresponde al año 2009 y para algunas parcelas el 2010 (HT11 y HT12). Se realizó el cálculo del IPA para cada intervalo de tiempo transcurrido entre los datos; es decir de 2009-2010, 2010-2011, 2013-2022.

Se realizó el cálculo del Incremento Medio Anual (IMA) el cual representa el promedio anual de crecimiento en un tiempo determinado (Contreras, 1998), esto se puede expresar con la fórmula:

$$IMA = \frac{\Delta\, Diámetro}{\Delta\, Tiempo}$$

Mortalidad

Se calculó la tasa anual de mortalidad siguiendo la metodología propuesta por Quinto et al. (2009) y Beltrán y Rivera (2011); en donde utilizaron las ecuaciones mostradas a continuación. En primera instancia para hallar el número de individuos inventariados inicialmente que

sobrevivieron en un inventario posterior se emplea la siguiente ecuación:

$$N_s = N_0 - M_u$$

En donde la N_s número de individuos inicialmente inventariados sobrevivientes en un inventario posterior, N_0 es el número de Individuos inicialmente inventariados y M_u corresponde al número de individuos muertos durante el intervalo t de tiempo. Por otro lado, se calculó la tasa anual de mortalidad:

$$r_m = \left[1 - (\frac{N_s}{N_0})^{\frac{1}{t}}\right] x100$$

Donde r_m es la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje, N_0 es el número de Individuos inicialmente inventariados, N_s número de individuos inicialmente inventariados sobrevivientes en un inventario posterior, después de un intervalo t de tiempo.
Finalmente, se calculó el coeficiente de mortalidad exponencial usando la siguiente ecuación:

$$\lambda_m = \frac{ln(\frac{N_0}{N_s})}{t} \times 100$$

Reclutamiento

Al igual que la mortalidad, se realizó comparación entre la metodología usada por Quinto et al., (2009) y Beltrán y Rivera (2011), y se utilizó la ecuación para obtener la tasa anual de reclutamiento. Se hizo la sumatoria entre el número de individuos inicialmente inventariados y los reclutados durante un periodo de tiempo determinado:

$$N_t = N_0 + I$$

Donde N_t corresponde a la suma de la cantidad de individuos iniciales más los reclutados en un periodo de tiempo, N_0 es el número de individuos inicialmente inventariados e I es el número de individuos reclutados durante el intervalo t de tiempo. Posteriormente, se determinó la tasa anual de reclutamiento con la siguiente fórmula:

$$r_r = \left[(\frac{N_t}{N_0})^{\frac{1}{t}} - 1\right] x100$$

Donde r_r es la tasa anual de reclutamiento expresada en porcentaje, N_t es el número de individuos inicialmente inventariados más los reclutados durante el periodo t de tiempo, N_0 es el número de Individuos inicialmente inventariados.
Finalmente, se calculó el coeficiente de reclutamiento exponencial usando la siguiente ecuación:

$$\lambda_r = \frac{ln(\frac{N_t}{N_0})}{t} \times 100$$

8. RESULTADOS

Composición florística

La base de datos que se obtuvo presentó 1474 individuos, pertenecientes a 85 familias, 104 géneros y 122 especies en 26 levantamientos de un área de 0,1 ha cada uno, en donde se censaron individuos con un DAP ≥ 10 cm. El área total muestreada fue de 2,6 ha en el departamento del Huila en los municipios de Timaná, Acevedo, Pitalito y Palestina.

Caracterización estructural del bosque

Abundancia

Se registraron siete especies que constituyen el 85% de la abundancia en los bosques de roble negro en la zona investigada, mientras que otras 115 especies representan el restante 15% con abundancias inferiores al 1%.

Destaca la presencia predominante de *T. excelsa* con (66,5%) de la abundancia, seguido de *Alfaroa williamsii* (4,8%), *Matudaea colombiana* (4.1%), *Dictyocaryum lamarckianum* (4%), *Vismia baccifera* (3,6%), *Billia rosea* (2%), e *Inga* sp. (1,4%) (Figura 3).

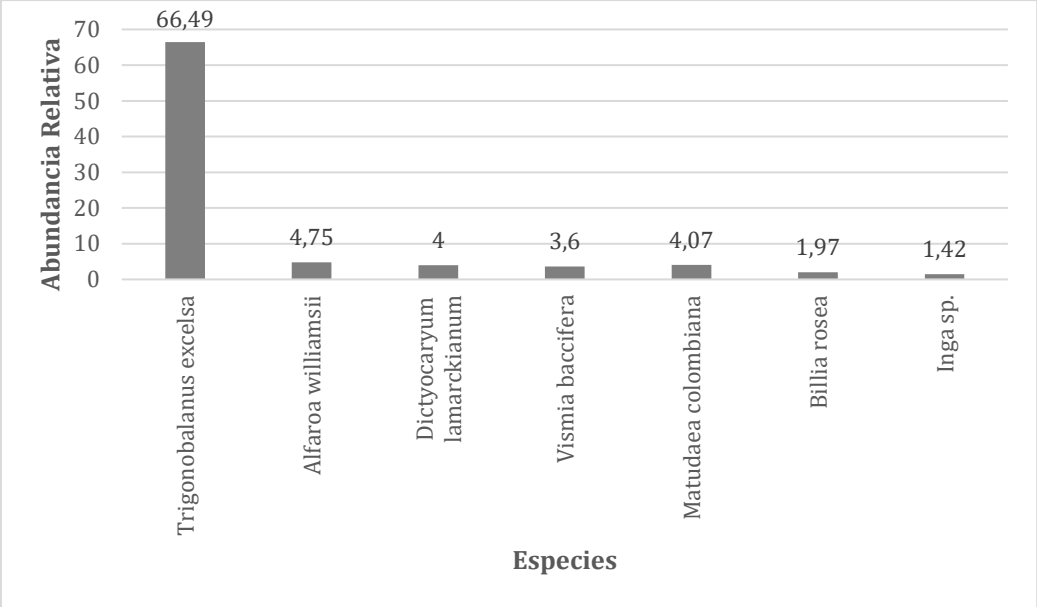

Figura 3. Abundancia relativa (%) de las 7 especies con mayor IVI del bosque.

Frecuencia

Las siete (7) especies con mayor frecuencia relativa en el bosque de roble negro representan 39,33% de la frecuencia total (Figura 5). La aparición de las demás especies inventariadas es menor a 3%. La especie que presentó mayor frecuencia en las parcelas fue *T. excelsa* con un (10,9%), seguido por la *B. rosea* con un (6,7%), *V. baccifera* con (5,9%), *D. lamarckianum*, *M. colombiana* y *A. williamsii* con (4,6%) cada una e *Inga* sp. (2.9%) (Figura 4).

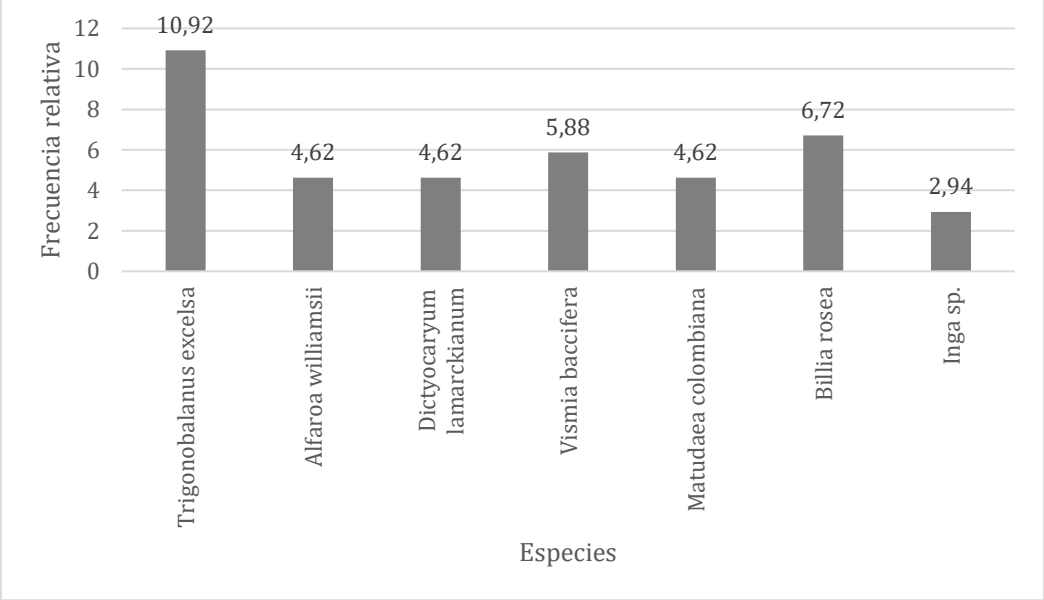

Figura 4. Frecuencia relativa (%) del bosque de roble.

Dominancia

Los árboles de *T. excelsa* alcanzan los mayores diámetros del bosque debido a su gran tamaño, esto se puede observar en la dominancia relativa dado que *T. excelsa* presenta (89,2%), seguido por *D. lamarckianum* con (1,9%), *A. williamsii*. (1,6%), *V. baccifera* (1%), *M. colombiana* (1%), *B. rosea* (0,8%) e *Inga* sp. (0.5%) (Figura 5). Estas siete (7) especies listadas anteriormente acumulan el 95% de la dominancia del bosque de roble negro objeto de la presente investigación (Figura 5).

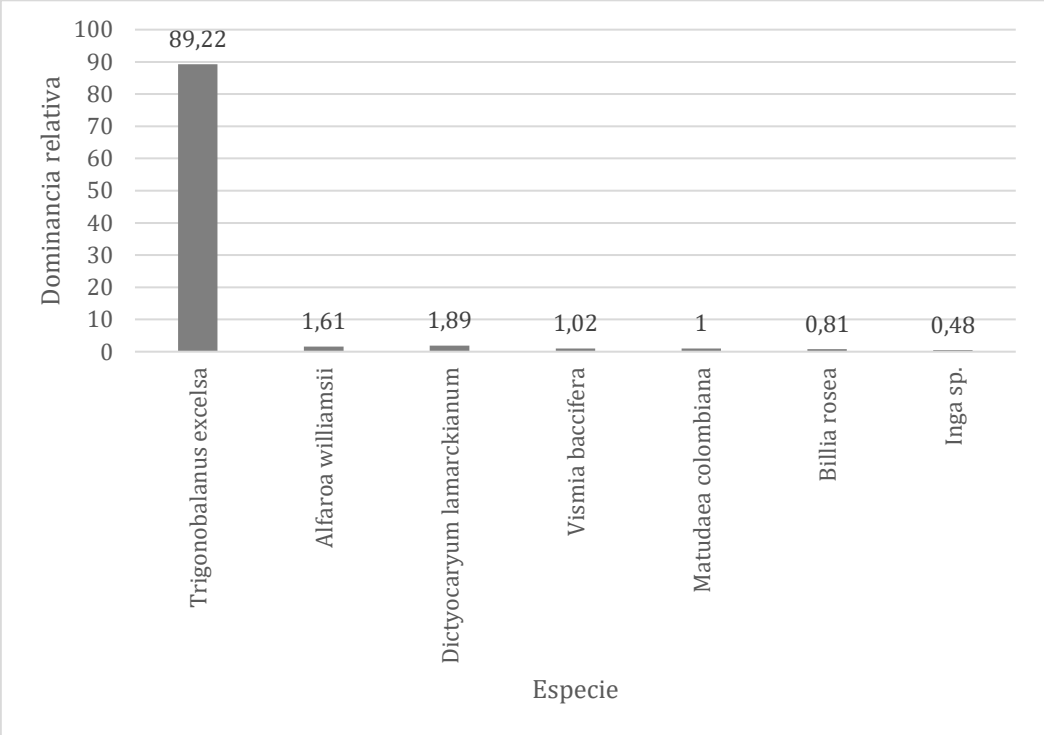

Figura 5. Dominancia relativa (%) del bosque de *T. excelsa*,

Índice de Valor de Importancia (IVI)

Las siete (7) especies con mayor índice de valor de importancia relativa, agrupan el 73,6% del total del bosque. *T. excelsa* presentó el (55,5%), *Alfaroa williamsii* (3,7%), *D. lamarckianum* y *V. baccifera* (3,5%) cada una, *M. colombiana* y *B. rosea* (3,2%) cada una e *Inga* sp. (1,6%) (Figura 6).

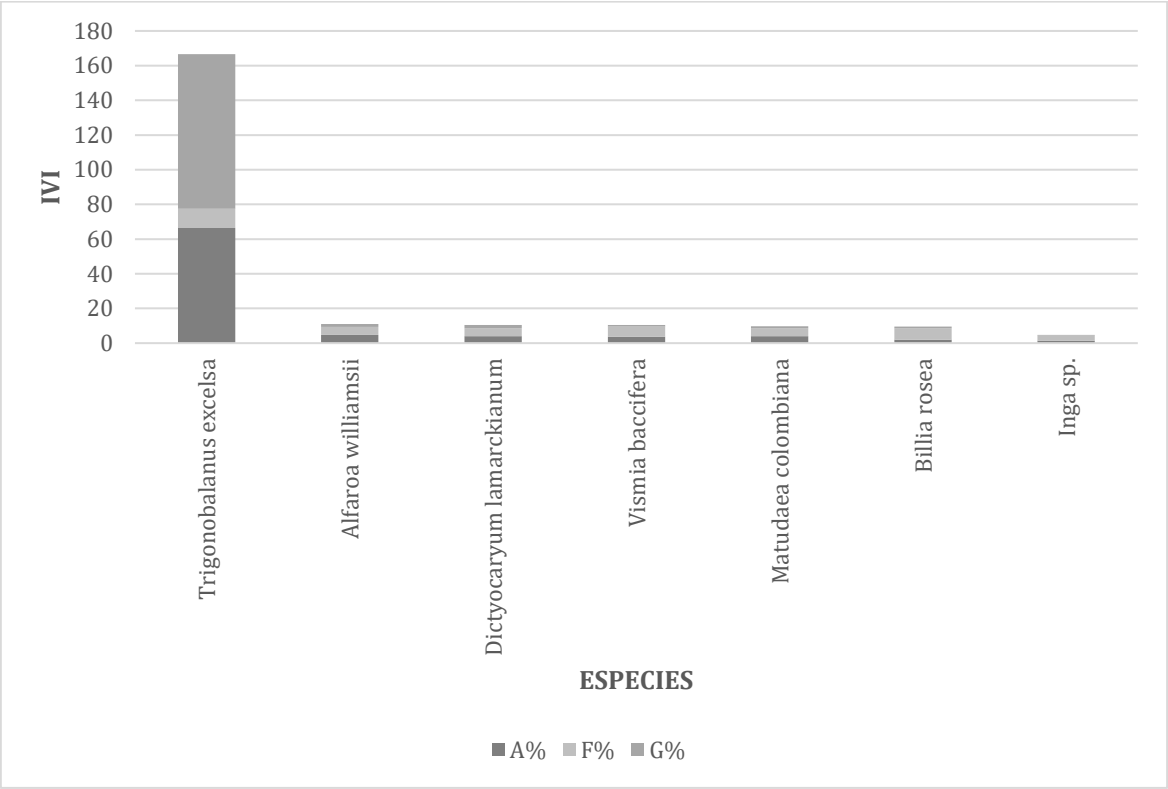

Figura 6. Índice de Valor de Importancia para el robledal.

Distribución diamétrica

En la distribución de DAP se establecieron catorce (14) clases; las clases I (10 – 20 cm) y II (20,1 – 30 cm) agrupan el 79,4% de los individuos; en la clase XIII (130,1 – 140 cm) se encontró un individuo (Figura 7). Se aprecia una distribución de "J" invertida, en donde la mayor concentración de individuos se encuentra en las primeras clases diamétricas y va disminuyendo a medida que el diámetro se va incrementando.

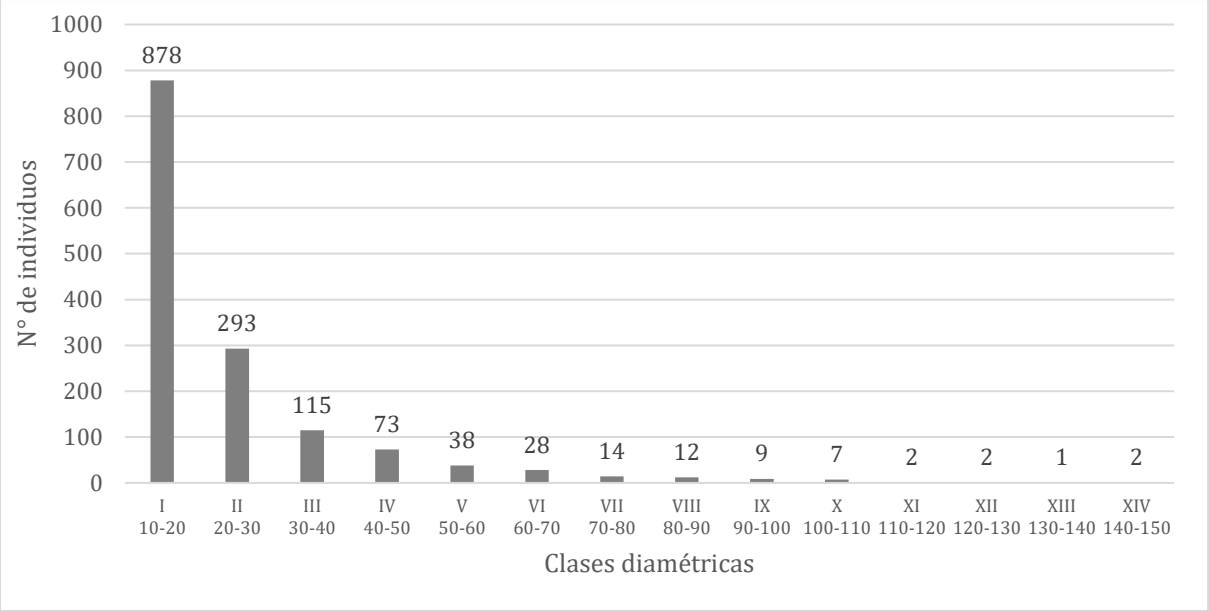

Figura 7. Distribución diamétrica del robledal.

Distribución altimétrica

El modelo exponencial ajustado que se determinó obtuvo un coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 0,32 y un error estándar residual de 7.28 (Figura 8).

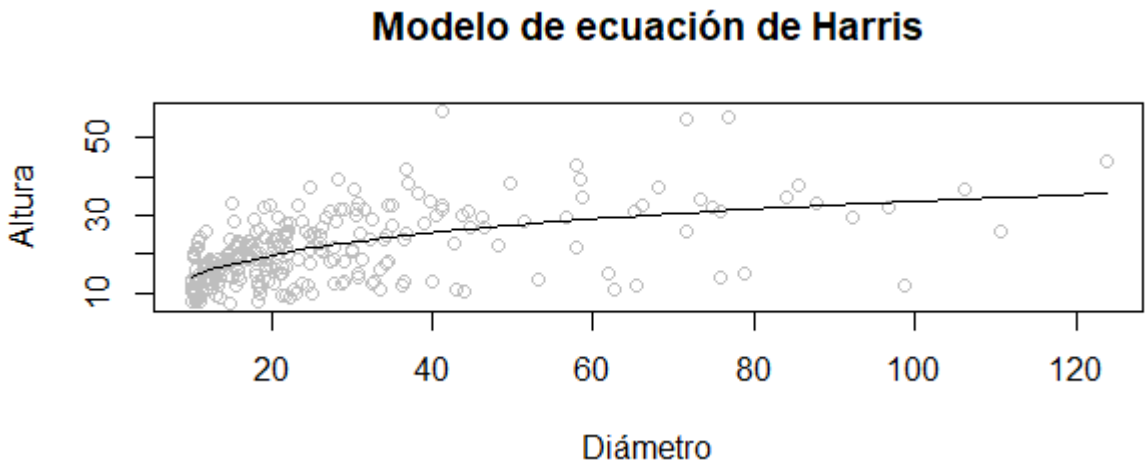

Figura 8. Modelo de ecuación de Harris para el robledal.

En la distribución altimétrica del robledal se establecieron doce (12) clases. Las clases II (11,6–15,9 m), III (15,9 – 20,2 m), IV (20,2 - 24,4 m) y V (24,4 – 28,7) agrupan el 90% de los individuos. En las clases X (45,9 – 50,2cm) y XI (50,2 – 54,4 m) no se encontró ningún individuo; mientras que en las clases IX (41,6 – 45,9 m) y XII (54,4 – 58,8 m) se encontraron 3 individuos en cada uno, siendo así, las clases con menos individuos, exceptuando las clases con 0 individuos (Figura 9).

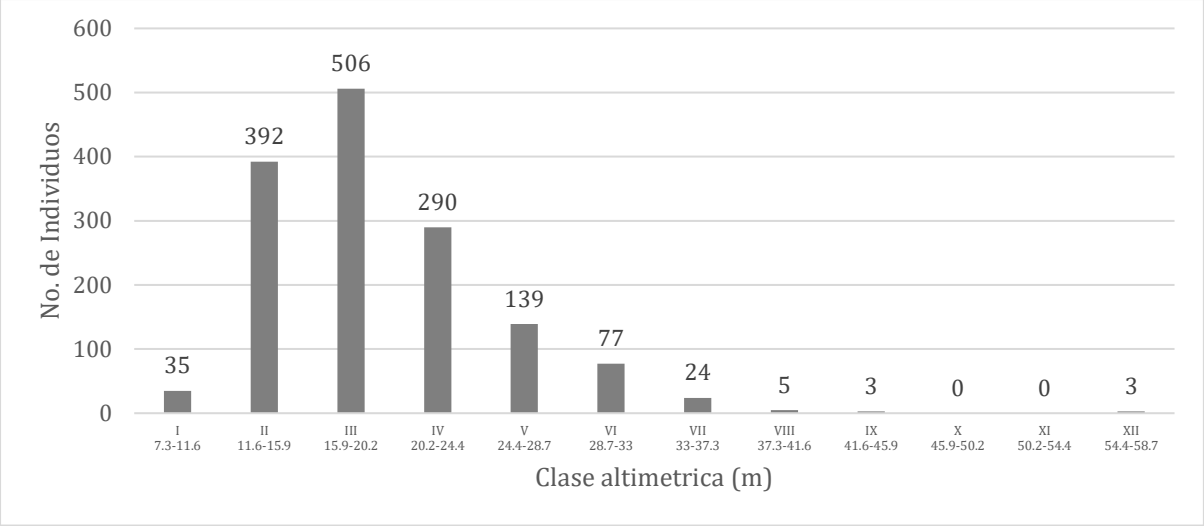

Figura 9. Distribución altimétrica del robledal.

La parcela permanente de monitoreo N17 ubicada en Villa Fátima, del Municipio de Acevedo, destacó con una altura promedio de 22,58 metros (Tabla 1), posicionándose como la parcela con el mayor promedio de altura registrada.

Tabla 1. Altura, área basal y volumen por parcela.

Vereda	Parcela	No. de árboles	Altura	Área basal	Volumen
Resinas	N1	51	20.44	4.56	102.69
Resinas	N2	61	19.21	4.67	103.87
Honda Porvenir	N3	50	20.81	3.45	69.91
Honda Porvenir	N4	57	19.54	2.76	50.32
Honda Porvenir	N5	75	18.28	2.50	42.79
Brisas	N6	105	21.18	5.25	98.09
Brisas	N7	83	19.44	3.46	59.15
Brisas	N8	74	19.03	4.29	96.17
Olivos	N9	69	19.35	3.50	71.00
Santa Rita	N10	80	19.20	3.09	59.02
Santa Rita	N11	33	22.37	5.20	130.98
Jericó	N12	61	17.11	2.41	41.73
Santa Bárbara	N13	51	20.47	3.54	76.95
Santa Bárbara	N14	34	21.45	5.57	127.96
Santa Bárbara	N15	46	20.36	5.04	113.76
La Ilusión	N16	70	17.29	1.67	26.43
Villa Fátima	N17	44	22.58	4.84	108.86
Alto Santa Bárbara	HT1	60	18.56	5.73	117.49
Alto Santa Barbara	HT2	49	18.56	6.05	114.88
Alto Santa Bárbara	HT3	55	17.24	3.14	50.45
San Isidro	HT4	28	18.11	2.11	37.86
La Palma	HT5	57	19.78	3.76	71.15
La Palma	HT6	62	19.55	3.22	56.24
Divino Niño	HT7	45	20.80	3.95	82.55

Vereda	Parcela	No. de árboles	Altura	Área basal	Volumen
Divino Niño	HT8	39	20.74	3.88	93.29
Villa Fátima	HT12	35	21.59	4.92	110.42
Suma		**1474**		**102.6**	**2114.01**
Promedio		**56.69**	**19.73**	**3.94**	**81.31**

Distribución de área basal

En la distribución del área basal se establecieron doce (12) clases; la clase I (0 – 0,15 m^2) agrupa el 89,8% de los individuos (Figura 10); en las clases VIII (1,05 – 1,2 m^2) y X (1,35 – 1,5 m^2) no se encontraron individuos, mientras en las clases IX (1,18 – 1,33 m^2) y XI (1,48 – 1,63 m^2) se encontraron 2 individuos y por último, en la clase XII (1,63 – 1,78 m^2) sólo se encontró un individuo.

Figura 10. Distribución de área basal del bosque de roble negro.

La parcela con mayor área basal es la HT2 localizada en la vereda Santa Barbara en el municipio de Timaná, con 6,05 m^2 (Tabla 1), con un individuo que presentó un máximo de 1,32 m^2.

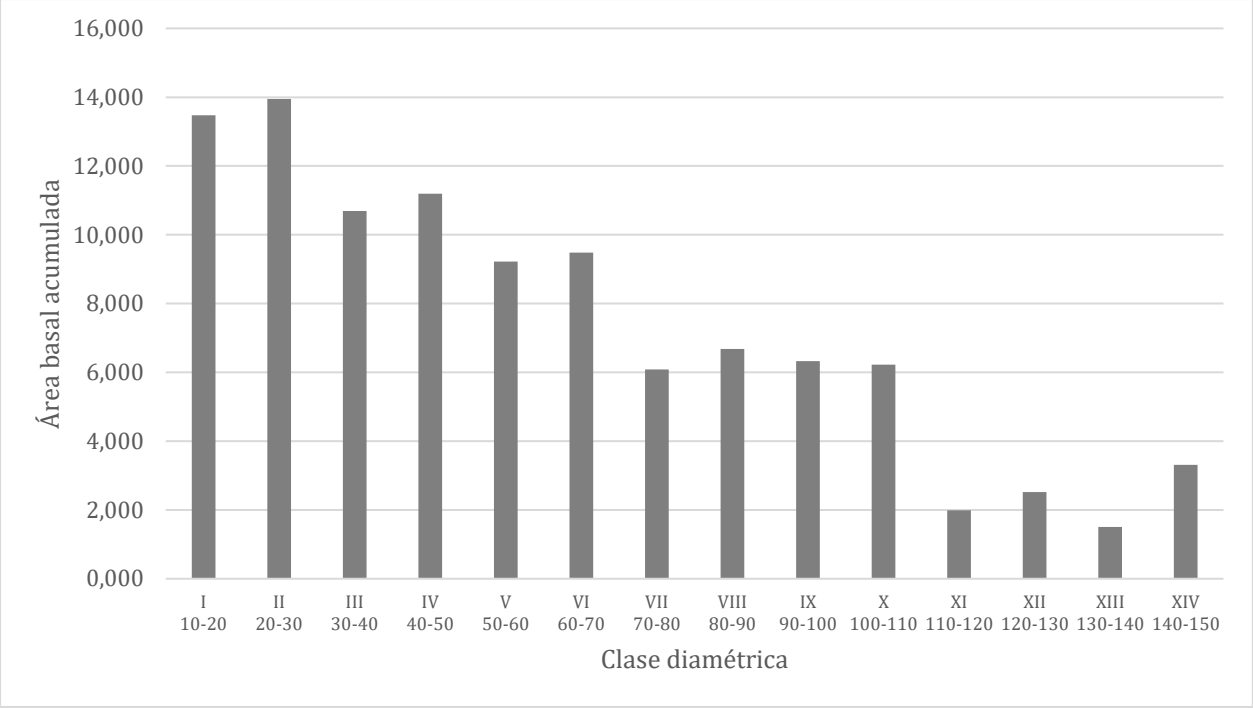

Figura 11. Distribución de área basal acumulada del bosque de roble negro muestreado.

La totalidad de las parcelas muestreadas presentó un área basal acumulada de 102.6 m^2. Las clases diamétricas con mayor área basal acumulada corresponden a las clases I (10 – 20 cm DAP) con 13.5 m^2; y II (20 – 30 cm DAP) con 13.9 m^2; y la clase con menor área basal corresponde a la clase XIII (130 – 140 cm DAP) con 1.5 m^2.

Volumen

Para la distribución volumétrica se establecieron 12 clases (Figura 11); la clase I (0 - 4.2 m^3) agrupa el 92,5% de los individuos muestreados, la clase 2 (4,2 - 8,4 m^3) agrupa el 3,8%, en la clase VIII (29,4 – 33,6 m^3) no se encontraron individuos. Por último, en las clases VII (25,2 – 29,4), IX (33.6 – 37,8 m^3), XI (42,0 – 46,2 m^3), y XII (46.2 – 50.4 m^3) se encontró 1 individuo en cada clase.

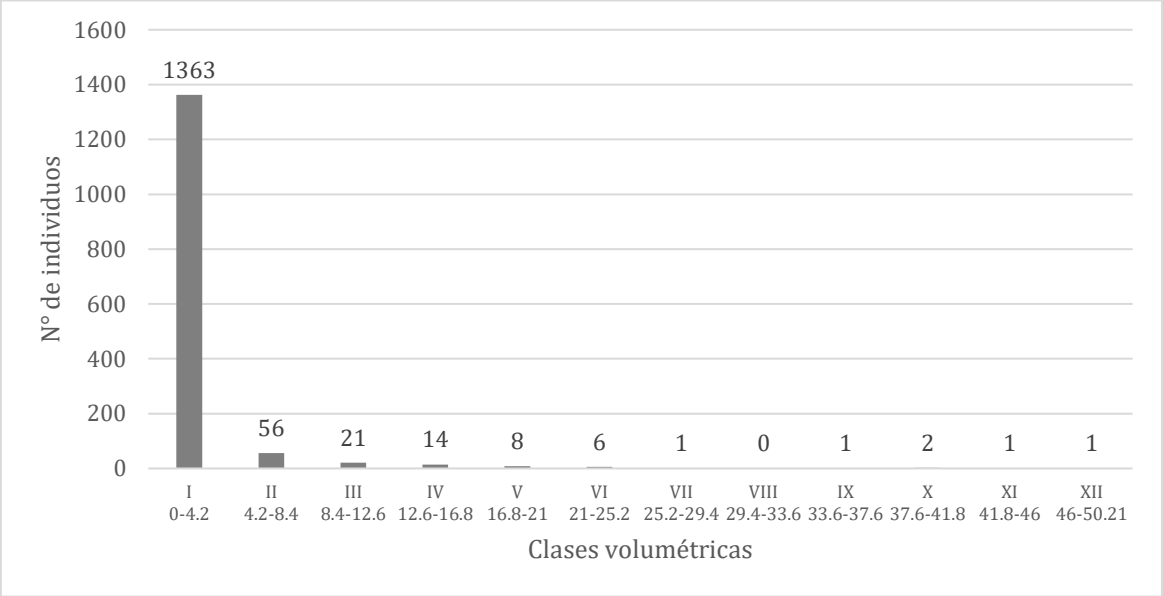

Figura 12. Distribución volumétrica del bosque de roble negro.

El mayor volumen registrado por parcela fue en N11 ubicada en Santa Rita, Pitalito con 130,9 m^3 en total. El volumen más alto presentado por un individuo en esta parcela fue de 44.7 m^3, que también registra una altura de 36,9 m y un DAP de 142,5 cm. Sin embargo, el mayor volumen de un individuo fue de 48.6 m^3 en la parcela HT1, teniendo este además una altura de 37.2 m y un diámetro de 147.9 cm.

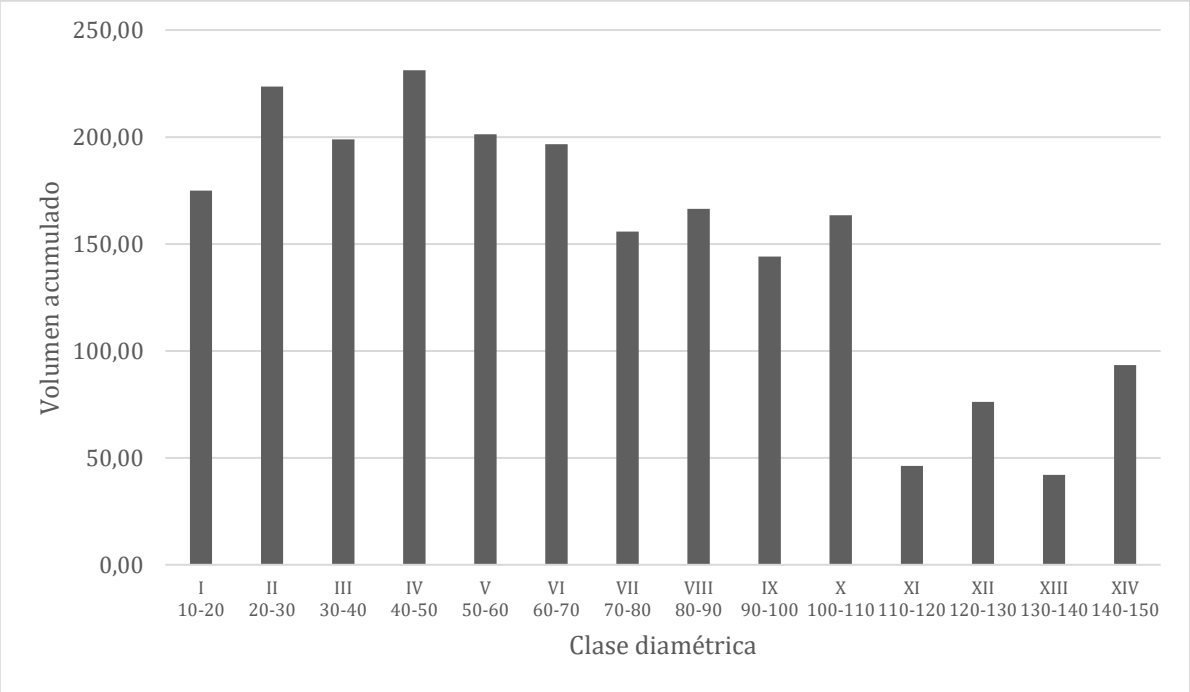

Figura 13. Distribución de área basal acumulada por clases diamétricas del bosque de roble negro.

La totalidad de las parcelas muestreadas presentó un volumen acumulado de 2114 m^3. Las clases diamétricas con mayor volumen acumulado corresponden a las clases II (20 – 30 cm DAP) con 223.6 m^3; y IV (40 – 50 cm DAP) con 231.3 m^3. La clase con menor volumen acumulado es la clase XIII (130 – 140 cm DAP) con 42 m^3.

Dinámica del bosque

Se analizaron 548 individuos en nueve (9) levantamientos en un área de 0,1 ha, en donde se censaron individuos con un DAP ≥ 10 cm. El área total muestreada fue de 0,9 ha.

Incremento diamétrico

El incremento diamétrico de *T. excelsa* se calculó para nueve (9) parcelas permanentes de monitoreo, que se censaron entre 2009 y 2023. Es importante señalar que la parcela HT11 se censó entre 2010 y 2013, mientras que la parcela HT12 se censó entre 2010 y 2023. Se evaluaron un total de 334 individuos de *T. excelsa* (Tabla 2).

El incremento diamétrico fue similar en las parcelas permanentes de monitoreo, con un promedio de 0.27 cm por año. El menor incremento diamétrico corresponde a la parcela HT11, ubicada en la vereda Villa Fátima, con un promedio de 0.1 cm de incremento anual. En esta parcela se midió el diámetro de 27 individuos y se realizó el seguimiento durante tres (3) años. Por otro lado, el mayor incremento diamétrico se presentó en la parcela HT8, ubicada en la vereda Divino Niño, con un promedio de 0.4 cm/año.

Tabla 2. Incremento diamétrico de *T. excelsa* en el DRMI Serranía Peñas Blancas.

Vereda	Parcela	N° árboles evaluados	IPA			
			Promedio	Sx	CV (%)	EEM
Alto Santa Bárbara	HT1	34	0,28	0,29	1,02	0,049
Alto Santa Barbara	HT2	35	0,23	0,22	0,97	0,037
Alto Santa Bárbara	HT3	34	0,23	0,20	0,89	0,034
San Isidro	HT4	13	0,33	0,32	0,97	0,088
La Palma	HT5	37	0,30	0,18	0,62	0,030
La Palma	HT6	47	0,26	0,18	0,67	0,026
Divino Niño	HT7	38	0,28	0,39	1,41	0,064
Divino Niño	HT8	34	0,42	0,47	1,12	0,081
Villa Fátima	HT11	27	0,12	0,15	1,26	0,029
Villa Fátima	HT12	35	0,28	0,29	1,03	0,049
Promedio			**0,27**	**0,27**	**1,00**	**0,049**

IPA: Incremento periódico anual; **Sx:** Desviación estándar; **CV (%):** Coeficiente de variación; **EEM**: Error estándar de la media.

Mortalidad

La cantidad de individuos muestreados inicialmente para el bosque en general fue de 531 (N0), los individuos muertos en 10 parcelas antiguas de monitoreo permanente a lo largo del periodo fueron 95 (Mu) y los individuos inicialmente inventariados sobrevivientes en el último registro fueron 436 (Ns). Con estos datos, la tasa anual de mortalidad (rM) corresponde a 1,5% y el coeficiente de mortalidad exponencial a 1,5% (λm) (Tabla 3).

En los últimos 13 años, la parcela HT1 registró el mayor número de individuos muertos con un total de 20. La mayor tasa de mortalidad se observó en el último año de recopilación de datos, considerando que habían transcurrido 10 años desde el último censo de árboles en estas parcelas de monitoreo permanente.

En la parcela HT8 solo se encontraron 11 individuos muertos para el año 2022, en su mayoría ocasionado por extracción selectiva de madera. En campo se pudo observar los tocones y tablas aserradas de los árboles que fueron talados (Figura 12).

Figura 14. Madera de los árboles talados.

Tabla 3. Tasa anual y coeficiente de mortalidad exponencial del bosque de *T. excelsa* en el DRMI Serranía Peñas Blancas.

Vereda	Parcela	Bosque					Roble negro				
		(Ns)	(N0)	(Mu)	(Rm)	λm	(Ns)	(N0)	(Mu)	(Rm)	λm
Alto Santa Bárbara	HT1	66	86	20	2.02	2.04	37	42	5	0.97	0.98
Alto Santa Barbara	HT2	53	72	19	2.33	2.36	36	47	11	2.03	2.05
Alto Santa Bárbara	HT3	55	67	12	1.51	1.52	35	38	3	0.63	0.63
San Isidro	HT4	22	34	12	3.29	3.35	13	16	3	1.58	1.60
La Palma	HT5	50	57	7	1.00	1.01	38	42	4	0.77	0.77
La Palma	HT6	62	65	3	0.36	0.36	47	48	1	0.16	0.16
Divino Niño	HT7	38	45	7	1.29	1.30	26	32	6	1.58	1.60
Divino Niño	HT8	34	45	11	2.13	2.16	26	35	9	2.26	2.29
Villa Fátima	HT11	27	27	0	0.00	0.00	16	16	0	0	0.00
Villa Fátima	HT12	29	33	4	0.99	0.99	25	28	3	0.87	0.87
Total		**436**	**531**	**95**	**1.50**	**1.52**	**299**	**344**	**45**	**1.07**	**1.08**

Ns: Individuos sobrevivientes en el intervalo **t** de tiempo; **N0:** Individuos inicialmente inventariados; **Mu**: individuos muertos durante el intervalo **t** de tiempo; **t:** Intervalo de tiempo en años transcurrido entre los inventarios; **Rm**: Tasa anual de mortalidad; **λm:** Coeficiente de mortalidad exponencial.

En la parcela HT11 no se encontraron individuos muertos; sin embargo, como se mencionó anteriormente, esta parcela únicamente se censo entre el 2010 y 2013. La segunda parcela con más individuos muertos fue la HT2, en el 2010 tuvo un total de 7 muertos (Tabla 3).

Específicamente para la *T. excelsa*, la cantidad de individuos muestreados inicialmente fueron 344 (N0), los individuos muertos en las 10 parcelas antiguas de monitoreo permanente a lo largo del periodo fueron 45 (Mu) y los individuos inicialmente inventariados sobrevivientes en el último registro fueron 299 (Ns). Con estos datos, la tasa anual de mortalidad (rM) corresponde a 1,1% y el coeficiente de mortalidad exponencial a 1,1% (λm).

Reclutamiento

La cantidad de individuos muestreados inicialmente para el bosque fue de 531 (N0), los individuos reclutados en las 10 parcelas antiguas de monitoreo permanente a lo largo del

periodo fueron 43 (I) y los individuos inicialmente inventariados junto con los reclutados en el último registro fueron 574 (Nt). Con estos datos, la tasa anual de reclutamiento (Rr) corresponde a 0,6% y el coeficiente de reclutamiento exponencial a 0,6% (λr) (Tabla 4).

Tabla 4. Tasa anual y coeficiente de reclutamiento exponencial del bosque de *T. excelsa* en el DRMI Serranía Peñas Blancas.

Vereda		Bosque					Roble Negro				
	Parcela	(Nt)	(N0)	(I)	(Rr)	λr	(Nt)	(N0)	(I)	(Rr)	λr
Alto Santa Bárbara	HT1	87	86	1	0.09	0.09	43	42	1	0.18	0.18
Alto Santa Barbara	HT2	75	72	3	0.31	0.31	48	47	1	0.16	0.16
Alto Santa Bárbara	HT3	72	67	5	0.56	0.55	39	38	1	0.20	0.20
San Isidro	HT4	40	34	6	1.26	1.25	18	16	2	0.91	0.91
La Palma	HT5	67	57	10	1.25	1.24	48	42	6	1.03	1.03
La Palma	HT6	66	65	1	0.12	0.12	48	48	0	0.00	0.00
Divino Niño	HT7	51	45	6	0.97	0.96	35	32	3	0.69	0.69
Divino Niño	HT8	50	45	5	0.76	0.81	37	35	2	0.43	0.43
Villa Fátima	HT11	27	27	0	0.00	0.00	16	16	0	0.00	0.00
Villa Fátima	HT12	39	33	6	1.29	1.29	29	28	1	0.27	0.27
Total		**574**	**531**	**43**	**0.60**	**0.60**	**361**	**344**	**17**	**0.37**	**0.37**

Nt: Individuos inventariados inicialmente más los reclutados en el intervalo **t** de tiempo; **N0:** Individuos inicialmente inventariados; **I**: individuos reclutados durante el intervalo **t** de tiempo; **t:** Intervalo de tiempo en años transcurrido entre los inventarios; **Rr:** Tasa anual de reclutamiento; **λr:** Coeficiente de reclutamiento exponencial.

La parcela con mayor número de reclutamientos corresponde a la HT5 en la vereda La Palma, donde se hallaron 10 individuos nuevos; y la parcela con menos ingresos fue HT11, que no presentó ningún individuo nuevo en el periodo de medición.

Especificamente para *T. excelsa,* la cantidad de individuos muestreados inicialmente fueron 344 (N0), los individuos reclutados en las 10 parcelas antiguas de monitoreo permanente a lo largo del periodo fueron 17 (I) y los individuos inicialmente inventariados más los reclutados en el último registro fueron 299 (Ns). Con estos datos, la tasa anual de reclutamiento (R, que no tuvo ningún en ingreso) corresponde a 0,4% y el coeficiente de reclutamiento exponencial a 0,4% (λr).

9. DISCUSIÓN

La estructura florística del bosque de roble negro esta principalmente determinada por los individuos de *T. excelsa*; lo cual se ve reflejado en que la especie presenta un 66,5% de abundancia relativa del bosque dentro de un total de 123 especies, lo que indica una dominancia notable puesto que las especies que ocupan el segundo lugar en relación a la abundancia son *M. colombiana* y *A. williamsii*. con 4.1%. Similar a lo mencionado por Avella et *al.* (2017), *T. excelsa* representó la mayor abundancia de los bosques analizados y las especies acompañantes poseían una abundancia bastante baja, cercana al 4%. Además, si se hace un contraste con más estudios realizados en otras regiones del país donde se encuentran bosques de Roble negro, se evidencia un comportamiento similar, como lo hallado por Moreno (2014) en el Parque Nacional Natural Farallones de Cali, en el cual *T. excelsa* también posee la mayor abundancia dentro del bosque. Cabe resaltar que las especies que presentan la segunda mayor abundancia para el estudio de Moreno (2014) pertenecen al género *Alchornea* con un aproximado del 27%. Así mismo *T. excelsa* se encontró en las 26 parcelas muestreadas, valor cercano al reportado

por Avella et *al.* (2017) para todos los robledales negros de Colombia.

El Índice de Valor de Importancia relativo obtenido para *T. excelsa* es de 56%, semejante a los resultados obtenidos por Parra et *al*. (2011), para bosque de roble negro en el departamento del Huila, quienes hallaron un IVI del 194,5 sobre 300, que expresado en valores relativos corresponde al 65%. Estos resultados se ven influenciados tanto por la abundancia de individuos como por el gran tamaño de los árboles adultos (Parra et *al*. 2011). Mientras que González et *al.* (2007) en bosques del corredor biológico entre los Parques Nacionales Naturales Puracé y Cueva de los Guácharos mencionan un IVI para la especie *C. excelsa* de 16% evidenciando una menor importancia a unos kilómetros al sur de la Serranía de Peñas Blancas, debido a que parte de estos bosques están dominados en mayor medida por *Q. humboldtii* en asociación con *W. fascicularis*.

De acuerdo con Avella et *al*. (2017), el arreglo sintaxonómico de los bosques de *T. excelsa* para esta región de Colombia se agrupa en la clase *Conceveibo pleiostemonae-Colombobalanetea excelsae,* el orden *Dictiocaryo lamarckiani-Colombobalanetalia excelsae* y la alianza *Matudaeo colombiana-Colombobalanetum excelsae*. Dentro de las especies más representativas además de *T. excelsa* encontradas en la presente investigación coinciden con las encontradas por Avella et *al*. (2017) en donde sobresalen *D. lamarckianum, V. baccifera, M. colombiana, B. rosea* y *Alfaroa williamsii*.

Respecto a la distribución diamétrica, el 60% de los individuos fustales se encontraron en la categoría I con un rango de diámetro desde los 10 cm hasta los 20 cm, en la II reúne el 20%; estructura similar a lo encontrado por Parra (2011), quien describe este tipo de bosque como disetáneos, indicando la mayor cantidad de individuos en las clases diamétricas inferiores y disminuyendo conforme aumenta su DAP, patrón característico de bosques tropicales en un estado sucesional avanzado (Parra et *al.*, 2011). Además, se evidencia el crecimiento exponencial en forma de J invertida; Avella et *al*. (2017), registraron 16 categorías diamétricas incluyendo la primera categoría de latizales con el rango de diámetro entre 2,5 cm y 10 cm, en donde también encontró el patrón disetáneo de la estructura diamétrica.

Los valores máximos registrados en cuanto altura, área basal y volumen pertenecen a árboles de *T. excelsa,* puesto que la especie se caracteriza por tener árboles de gran porte que dominan el dosel. Se encontró un promedio de 57 individuos en cada parcela de 0,1 ha con un DAP mayor o igual a 10cm, un área basal acumulada promedio de 3.94 m^2 y 81.33 m^3 de volumen. Avella et *al.* (2017) hallaron en promedio 64 individuos para el mismo tamaño de parcela, 7.1 m^2 de área basal y 111 m^3 de volumen, se puede evidenciar una diferencia moderada con el presente estudio, esto teniendo en cuenta que su área de estudio comprendió las principales localizaciones de los bosques de Roble Negro en Colombia.

Por otro lado, Avella et *al.* (2017) para la asociación de *Alfaroo williamsii-Colombobalanetum excelsae* obtuvieron un promedio de 56 individuos en 0.1 ha con un DAP mayor o igual a 10 cm, un área basal total de 3.4 m^2 y 42.8 m^3 de volumen total de madera, acercándose más a lo obtenido en la presente investigación, a excepción del volumen obtenido ya que en el caso del DRMI Serranía Peñas Blancas se obtuvo 81.33 m^3 de volumen acumulado promedio para las parcelas muestreadas, teniendo en cuenta que la asociación estudiada con Avella et *al.* (2017) se localizó en el departamento de Santander, lo que puede explicar la diferencia de resultados obtenidos.

Sin embargo, Dávila et *al.* (2012) en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos

encontraron un promedio de 29 individuos en 0.1 ha, 5.2 m^2 de área basal y 76.2 m^3 de volumen, reflejando que se encontraron individuos de mayor magnitud, esto puede ser porque la zona de estudio está dentro del área protegida declarada desde el año 1960.

Con base a los resultados obtenidos en esta investigación, el ajuste del modelo de Harris para estimar alturas a partir del DAP, se sugiere que la muestra utilizada podría no ser completamente representativa para calcular la altura de los árboles. El coeficiente de determinación R^2 de 0.32 indica una representación limitada de la altura por parte del modelo, se puede tomar como una oportunidad para mejorar la precisión de este en futuros estudios. Por lo tanto, se recomienda incluir mayor cantidad de datos provenientes de una muestra más amplia para fortalecer la capacidad predictiva del modelo en la estimación de alturas a partir del DAP, esto teniendo en cuenta que se tomó la altura del 20% de los fustales de cada parcela.

Los bosques de roble en Colombia poseen muy pocos estudios sobre dinámica y crecimiento, especialmente para *T. excelsa,* por lo que es difícil hacer una comparación de dinámica con otras localidades en Colombia. Beltrán & Rivera (2011), reportaron un incremento diamétrico promedio anual para un bosque de roble blanco (Q. humboldtii) medido de 0,43 cm/año, mientras que Becerra (1989) en un periodo de cuatro años obtuvo un incremento de 0,58 cm/año, similar al resultado obtenido por Ávila *et al.* (2010) que obtuvieron 0,5 cm/año en censos realizados en el año 2007 y 2009. Sin embargo, León & Giraldo (2000) encontraron que el incremento diamétrico para el *Q. humboldtii* está entre 0,12 – 0,21 cm/año en el norte de Antioquia. Realizando una comparación al resultado| para *T. excelsa* que fue de 0,27 cm/año, se puede apreciar que el incremento obtenido para la especie en la Serranía de Peñas Blancas es menor que en un gran porcentaje de estudios realizados para *Q. humboldtii* que igualmente tiene un comportamiento de bosque homogéneo, siendo lo obtenido por Avella et *al.,* (2017) lo más cercano, ya que halló un crecimiento aproximado de 0,29 cm/año en el corredor de conservación Guantiva – La Rusia - Iguaque.

La tasa anual de mortalidad encontrada en el presente estudio fue de 1,5% lo que lleva a ser considerada como mortalidad de "trasfondo" de acuerdo a Lugo & Scatena (1996); lo que significa una mortalidad a pequeña escala donde se encuentran árboles muertos en pie, rotura del tallo y volcamiento, en una escala espacial pequeña. Una tasa de mortalidad anual que sea mayor al 5% ya se considera como mortalidad catastrófica y los cambios que genera son bastante significativos. Además de tener concordancia con lo reportado por Phillips *et al.* (1994), quienes encontraron que para los bosques tropicales la tasa anual de mortalidad oscila entre 0,7 y 2,9%. De esta manera es posible afirmar que la mortalidad de estos bosques se encuentre en un rango normal y el verdadero problema se centra en el reclutamiento por lo que se pueden sugerir actividades a realizar sobre la regeneración.

Relacionado con lo anterior, Quinto *et al.* (2009), argumentan que algunos factores como la precipitación pueden ser causantes de un leve aumento en la mortalidad, más específicamente a la provocada por volcamiento, dado que las lluvias en cantidades bastante altas pueden aflojar las raíces, también aumentar el peso de las ramas y por lo tanto el peso que debe soportar el árbol lo que lleva al individuo a perder su forma aerodinámica, sin embargo, no se puede dejar de lado la intervención humana. En el caso de la mortalidad de la población de *T. excelsa* se obtuvo una tasa anual de 1,1%, la cual es menor que la reportada para el bosque en general, y se mantiene en la misma consideración de mortalidad de trasfondo explicada por Lugo & Scatena (1996) quienes añadido a lo anterior señalan que la tasa de mortalidad rara vez supera el 3%.

Los bosques húmedos tropicales han reportado tasas de reclutamiento que oscilan entre los 0,7 – 3,1% (Londoño & Jiménez, 1999). Phillips *et al.,* (1994) reportaron tasas de reclutamiento para bosques de Amazonia (1,8%), bosques del Sureste Asiático (1,5%) y otras regiones tropicales (1,5%). Así mismo, en bosques primarios de Costa Rica se obtuvo una tasa de reclutamiento de 1,8% y de 1,4% para bosques de Malasia (Monakaran y Kochummen, 1987). El presente estudio presento una tasa anual de reclutamiento de 0,6% para el bosque de roble negro lo que indica un bajo reclutamiento comparado con la tasa de mortalidad obtenida estos bosques y también con los valores reportados para los bosques tropicales en general y; así mismo, la tasa anual de reclutamiento de *T. excelsa* fue de 0,4%, siendo aún menor que la tasa encontrada para el bosque en general, aun así *T. excelsa* fue la especie con mayor número de individuos reclutados para la categoría de fustales.

Según Quinto *et al.,* (2009) el equilibrio dinámico del bosque se encuentra cuando la tasa de mortalidad y reclutamiento presentan un balance en referencia a la densidad del bosque y la biomasa aérea. El hecho de que los robledales conformados por *T. excelsa* presenten una tasa de mortalidad considerablemente mayor a la tasa de reclutamiento demuestra un desequilibrio en la dinámica, y puede sustentar la necesidad de adelantar acciones de conservación basadas en un manejo silvicultural que fomente el establecimiento y desarrollo la regeneración natural debido a que si la tendencia continúa podría aplicar lo que sostienen Quinto et al. (2009) respecto a que el bosque no podrá recuperarse por sí solo en un periodo corto de tiempo (menor a 100 años).

10. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de la estructura del bosque de roble negro en el DRMI Serranía de Peñas Blancas, se puede concluir que la especie *T. excelsa* es la más abundante, representando el 66,5% de la abundancia relativa del bosque. Esta homogeneidad es destacada, ya que otras especies como *M. colombiana* y *A. williamsii* presentan una abundancia relativa cercana al 4%, lo cual coincide con investigaciones previas en diferentes regiones del país donde el roble negro es el principal componente de estos bosques.

Además, se observa que *T. excelsa* se encuentra ampliamente distribuida en las 26 parcelas muestreadas, con una frecuencia relativa del 100% en el inventario forestal, lo que resalta su relevancia en este ecosistema. El patrón de distribución diamétrica muestra una mayor concentración de individuos en las clases diamétricas inferiores, siguiendo un patrón característico de bosques tropicales en un estado sucesional avanzado.

La tasa anual de mortalidad obtenida para el bosque fue de 1,5% y la tasa anual de reclutamiento fue de 0,6%. Mientras que para *T. excelsa* la tasa anual de mortalidad fue de 1,07%. y la tasa anual de reclutamiento fue de 0,37%. Generando así un desequilibrio dinámico que demuestra una regeneración natural limitada, lo que hace necesario brindar un mayor enfoque a las actividades de conservación que permitan mejorar el estado actual de este tipo de bosques monodominantes.

11. RECOMENDACIONES

La alteración en los aspectos estructurales y dinámicos del bosque puede haber sido provocado tanto por la tala de árboles con fines maderables, como por la expansión de la frontera agropecuaria, ya que los fragmentos del bosque de roble negro se encuentran rodeados por predios privados utilizados principalmente para cultivos como café, pitaya, granadilla y ganadería.

Es crucial resaltar que este estudio sienta las bases para futuras investigaciones orientadas a comprender mejor la dinámica y la ecología de las especies asociadas a los bosques de roble negro o robledales, así como para implementar estrategias de conservación que salvaguarden su diversidad y contribuyan al equilibrio ecológico regional. Se recomienda continuar realizando estudios detallados sobre la dinámica del bosque de Roble Negro, ya que es evidente la falta de información al respecto; lo anterior con el fin de ampliar el conocimiento científico sobre esta especie amenazada y el ecosistema que conforma dentro de los bosques andinos, lo que permitirá orientar acciones de conservación para reducir el nivel de riesgo en el que se encuentra *T. excelsa*.

12. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, V. H., Araujo, P. A., & Iturre, M. C. (2006). Caracteres estructurales de las masas. Serie Didáctica No. 2. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.

Acuerdo 003 de 2018 [Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena]. "Por el cual se declara, reserva, delimita, alindera el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Serranía de Peñas Blancas, ubicado en los municipios de Palestina, Acevedo, Pitalito, Timaná y Suaza en el departamento del Huila". 22 de marzo de 2018.

Acuerdo 009 de 2018 [Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena]. "Por el cual se regula la flora silvestre maderable y no maderable, la movilización de sus productos y las plantaciones forestales protectoras y protectoras- productoras, en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM". 25 de mayo de 2018.

Aguirre-Acosta, N., & Botero-Echeverri, J. E. (2018). Estructura poblacional y distribución espacial del Roble Negro (*Colombobalanus excelsa*, Fagaceae), especie endémica, en fragmentos de bosque andino colombiano. Revista de Biología Tropical, 66(2), 486-494. https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33376

Aguirre, Z., Alverca, J. & Contento, C. (2022). Dinámica de crecimiento de las especies forestales en una parcela permanente en el bosque seco La Ceiba, Zapotillo, Loja, Ecuador. Capítulo 7. ENGENHARIA FLORESTAL: CONTRIBUIÇÕES, ANÁLISES E PRÁTICAS EM PESQUISA.

Aguirre-Acosta, N., Parra Aldana, C.A. & Botero, J.E. (2020). Trigonobalanus excelsa. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T32076A137102918. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T32076A137102918.en.

Aguirre Mendoza, Zhofre Huberto, Merchán Granda, Jhulissa Patricia, & Geada López, Gretel. (2022). Dinámica de crecimiento de especies forestales en el bosque andino del Parque Universitario "Francisco Vivar Castro", Loja, Ecuador. Revista Cubana de Ciencias Forestales, 10(3), 292-306. Epub 02 de septiembre de 2022. Recuperado en 02 de febrero de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692022000300292&lng=es&tlng=es.

Avella, A., Rangel, O., & Parra, C. (2017). Bosques de Roble Negro Colombobalanus excelsa (Lozano, Hern. Cam. & Henao) Nixon & Crepet en Colombia: Sintaxonomía, Composición Florística y Estructura. En J. O. Rangel (ed.). Colombia Diversidad Biótica XV. Los bosques de robles (Fagaceae) en Colombia. Composición florística, estructura, diversidad y conservación. (Pp. 149-214. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales.

Avella, A. & Rangel J. O. (2017). LOS ROBLEDALES. Diversidad y Conservación. Instituto Alexander von Humboldt (IAvH). Biodiversidad 2016, ficha 105. Doi 10.37885/220308284.

Avella, A., Rangel, O. & Solano, C. (2017). Conservación, Manejo y Restauración de los Bosques de Robles (*Quercus humboldtii* Bonpl.) en el Corredor de Conservación Guantiva – La Ruasia – Iguaque GRI (Santander - Boyacá, Colombia). En J. O. Rangel (ed.). Colombia Diversidad Biótica XV. Los bosques de robles (Fagaceae) en Colombia. Composición

florística, estructura, diversidad y conservación. (Pp. 261-286. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales.

Ávila, F. A., Patricia Ángel, S. P., y López C, R. (2010). Diversidad y estructura de un robledal en la reserva biológica Cachalú, Encino (Santander-Colombia). Colombia forestal, 13(1), 87–116. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2010.1.a04

Becerra, J. E. (1989). Estructura y crecimiento de un bosque secundario de roble (*Quercus humboldtii*). Colombia Forestal 3:1-64.

Beltrán, J. L. & Rivera, J. A. (2011). Dinámica de un bosque de roble (Quercus humboldtii), en la vereda Clarete, municipio de Popayán, Cauca. [Trabajo de investigación presentado para optar para el título de ingenieros forestales]. Universidad del Cauca.

Bernal, R. (2015). Colombobalanus excelsa (Lozano et al.) Nixon & Crepet En Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.) 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co

Botero, V., Díez, C., Parra, C., Serna, J., Peña, L., & Rodríguez, N. (2010). Plan de conservación para la especie amenazada Roble Negro Colombobalanus excelsa (Lozano, Hdz C. & Henao) Nixon & Crepet, en los ecosistemas de interés del departamento del Huila. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

CAM (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena). (2017). Documento síntesis - Propuesta: de Declaratoria. Distrito Regional de Manejo Integrado Serranía de Peñas Blancas. Pp. 91.

CAM (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena). (2019). Actualización del plan de Conservación del Roble Negro (Colombobalanus excelsa), en jurisdicción del departamento del Huila. Huila, Colombia.

CAM (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena). (2020). Plan de Manejo "Distrito Regional de Manejo Integrado Serranía de Peñas Blancas". CAM. Huila, territorio de vida. Huila, Colombia.

CAM (Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena). (2021). Frenan tala de roble en Palestina. Disponible en: https://cam.gov.co/1919-frenan-tala-de-roble-en-palestina.html

Cantillo H, E. E., Rodríguez R, K. J., y Avella M, E. A. (2004). Diversidad y caracterización florística estructural de la vegetación arbórea en la Reserva Forestal Carpatos (Guasca Cundinamarca). *Colombia forestal*, *8*(17), 5–21. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2004.1.a01

Cárdenas, J., J. Fuquen y A. Nunes. (2002). Geología de la plancha 388 Pitalito. Memoria Explicativa Plancha 388: Escala 1:100.000. Pitalito. http//www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Suelo/Estudios%20Deptos/Cauca/210610_IGAC_%20Est_Sue_Cauca_2009_Biblio.pdf

Cárdenas L., D. & N. R. Salinas. (2007). Roble Negro (Colombobalanus excelsa). Pp. 210 -

213. En: D. Cárdenas L. & N.R. Salinas (eds.). Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 pp.

Contreras, F. (1998). ¿Cómo Determinar la Tasa de Crecimiento de los Árboles? BOLFOR. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. Notas técnicas.

Dávila, D. E., Franco, J. & Ospina, R. (2012). Distribución espacial, estructura y volumen de los bosques de roble negro (*Colombobalanus excelsa* (Lozano, Hern. Cam. & Henao, J.E.) Nixon & Crepet) en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guacharos. Colombia Forestal, 15(2), 207-214. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.2.a05

EGE- IEGEBA. (2016). Atributos de la comunidad. Ecología de comunidades. Teórica 1. Departamento de Ecología, Genética y Evolución. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Fundación Franklinia. (2022). CONSERVACIÓN IN SITU DE ÁRBOLES AMENAZADOS EN COLOMBIA. Enfoque en especies endémicas y en peligro de extinción de la familia Fagaceae. Taxón prioritario: Trigonobalanus excelsa (EN). CAM. Universidad del Rosario. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

González, Y., Coca, A., Cantillo, E. E. (2007). Estructura y composición florística de la vegetación del corredor biológico entre los Parques Nacionales Naturales Puracé y Cueva de los Guácharos. Colombia Forestal, vol. 10, núm. 20, diciembre, 2007, pp. 40-78. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia

Gutiérrez, E., Moreno, R. D., Villota, N. (2013). Guía de cubicación de madera No. 1. Corporación Autónoma Regional de Risaralda, Unión Europea. ISBN: 978-958-8370-42-2.

IAvH (Instituto Alexander von Humboldt) (2005). Caracterización biológica del proceso corredor biológico entre los parques naturales nacionales Puracé-Guácharos (Huila) Colombia. Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental – GEMA. Informe técnico final. Villa de Leyva. 186 p.

IAvH (Instituto Alexander von Humboldt) (2017). Concepto previo - declaratoria DRMI Serranía de Peñas Blancas. Neiva, Huila.

León, J. D. & Giraldo, E. (2000). Crecimiento diamétrico en robledales del norte y centro de Antioquia, Colombia. Crónica Forestal y del Medio Ambiente, diciembre, vol. 15, número 1. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Pp.119-138.

Londoño, A.C. & Jiménez E.M. (1999). Efecto del tiempo entre los censos sobre la estimación de las tasas anuales de mortalidad y de reclutamiento de árboles (periodos de 1,4 y 5 años). Crónica Forestal y del Medio Ambiente 14(1): 41-58.

Lozano, G., Hernández, J. & Henao, J. E. (1979). Hallazgo del género Trigonobalanus Forman, 1962 (FAGACEAE) en el Neotrópico - I. Botánica. Caldasia, Vol. XII, No. 60.

Lugo, A. & Scatena, F. (1996). Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet and rain forest. Biotropica 28(4): 585-599.

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). (2018). Serranía de Peñas Blancas, nueva área protegida del Huila. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado 28 de abril de 2022, de https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3704-serrania-de-penas-blancas-nueva-area-protegida-del-huila

Monakaran, N. & Kochummen, K.M. (1987). Recruitment, growth and mortality of tree species in a lowland dipterocarp forest in peninsular Malaysia. Journal of Tropical Ecology 3(4): 315-330.

Moreno, J. S. (2014). Estructura poblacional del roble negro (Colombobalanus excelsa) en el Valle del Cauca, una herramienta para la formulación de una estrategia para su conservación. (Trabajo de grado, Biología). Universidad Icesi.

Odum, E.P. (1972). Ecología, México DF, México: Nueva editorial interamericana.

Parra, C. A. (2011). Regeneración natural del Roble Negro (Colombobalanus excelsa) en dos poblaciones de la cordillera oriental de Colombia. [Tesis de Grado presentada como requerimiento parcial para optar al título de Magister en Bosques y Conservación Ambiental]. Universidad Nacional de Colombia.

Parra, C. A., Díez, M. C., Moreno, F. H. (2011). Regeneración Natural del Roble Negro (Colombobalanus excelsa, Fagaceae) en Dos Poblaciones de la Cordillera Oriental de los Andes, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 64(2). 6175-6189.

Parra, C.A., Botero, V. & Díez, M.C. (2011). El Roble Negro, patrimonio natural del Huila. ¿Qué hacer para su conservación? Universidad Nacional sede Medellín, Medellín, Colombia.

Phillips, O., Hall, P., Gentry, A., Sawyer, S. & Vásquez, R. (1994). Dynamics and species richness of tropical rain forest. Nacional Academy of Sciencies 91 (7): 2805-2809.

Quinto, H., Rengifo, R. & Ramos, Y. A. (2009). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó (Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 62 (1): 4855-4868.

Resolución 1912 de 2017 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. “Por la cual se establece el listado de especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”. 15 de septiembre de 2017.