

Efecto Sinérgico de las Propiedades Físicoquímicas del Suelo Sobre la Diversidad y Estructura
de Plántulas en un Bosque Altoandino

Angélica Katherine Domínguez Becerra, Claudia Nataly Silva Silva

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

PhD. Ciencias Agrarias

Codirector

Diego Suescún Carvajal

MSc. Bosques y Conservación Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

Claudia Nataly Silva Silva

Gratitud primeramente con Dios, por ser el dueño de mi vida y darme las fuerzas para sacar adelante este proyecto, a mis padres Ramiro Silva y María Eunice Silva, por ser motivo de admiración para mi vida, que con su ejemplo y ternura me incentivan a ser mejor persona, agradezco por todo su esfuerzo, dedicación y amor, por ser la razón más grande para hacer realidad mis sueños. A mis hermanas Carolina y Sandra por estar siempre para mí, por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles de mi vida, a mi sobrina Yaireth Juliana por ser la alegría más grande de mi vida. A la familia Domínguez Becerra, por brindarme todo su apoyo, acogerme en su hogar y convertirse en mi segunda familia. A la memoria de mis abuelos, Raúl, Clodomiro, Graciela y la de mi primo Lino Silva. Además, dedico este proyecto a mi amiga y compañera de tesis Angélica Domínguez, por todo su esfuerzo y dedicación durante nuestro proceso de formación, a mis demás familiares y amigos, gracias por su apoyo, confianza y por ser parte de la realización de mis sueños.

Mil gracias a todos, con Cariño.

Dedicatoria

Angélica Katherine Domínguez Becerra

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional; a la memoria de mis abuelos Alicia Becerra y Simeón Domínguez, quienes desde el cielo guían mi camino; y en especial a la memoria del gran amor de mi vida Brayan Prieto, que me dio el mejor regalo del mundo, mi hija Alisson Soffia que con su presencia y ternura me motiva a ser mejor cada día y es mi motor para salir adelante; a mis padres Argemiro Domínguez y Alix Becerra por ser el pilar fundamental en mi familia, por demostrarme su amor y apoyo incondicional ante cualquier adversidad, por darme todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi empeño y mi perseverancia; a mis hermanos y sobrinos por estar siempre presentes y brindarme el apoyo necesario día a día para que mi sueño se hiciera realidad. A mi amiga y compañera de tesis Claudia Silva por su dedicación y paciencia en todo el transcurso de la carrera. A mis demás familiares y amigos por creer en mí y estar presentes en todas las circunstancias

A todos ustedes con amor.

“Quien ha aprendido a escuchar a los árboles ya no desea ser un árbol, no desea ser más que lo
que es.”

Hermann Hesse.

Agradecimientos

Inicialmente, agradecemos a Dios, por permitirnos culminar con este gran proyecto, a la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos la oportunidad de pertenecer a tan excelente institución. A nuestras Familias, Domínguez Becerra y Silva Silva, por su apoyo y amor incondicional. Al Dr. Julián Botero por su dirección en la ejecución del proyecto y al Msc. Diego Suescún, por su codirección y seguimiento. A Yasmin Alvarado, por su compromiso en la realización de nuestro proyecto, a nuestras amigas y compañeras Rossi Uyaban, Laura Silva y Sandra Uyaban, por todo su apoyo durante nuestra formación universitaria, al Ingeniero Rafael Flórez por su disposición y ayuda durante el proceso, de igual manera, agradecemos a todos los docentes que hicieron parte de nuestra formación profesional, quienes con su sabiduría nos orientaron en cada una de las etapas.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1 Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2 Marco Referencial.....	17
2.1 Marco Teórico.....	17
2.1.1 Relaciones de propiedades físicoquímicas del suelo	17
2.1.2 Diversidad y estructura de plántulas	19
2.1.3 Robledal	20
2.2 Estado del Arte.....	21
2.3 Marco Conceptual.....	25
2.4 Marco Jurídico	28
3 Metodología	30
3.1 Área de estudio	30
3.2 Tipo de estudio.....	31
3.3 Trabajo de campo.....	32
3.3.1 Montaje de parcelas.	32
3.3.2 Montaje de subparcelas.....	32
3.4 Toma de datos	34
3.4.1 Brinzales.	34
3.4.2 Muestras de suelos con brinzales del bosque.....	34
3.4.3 Muestras de suelos sin brinzales vegetal del bosque.	35
3.5 Procesamiento de datos.....	35
3.5.1 Diversidad y estructura de plántulas.	36
3.6 Análisis de laboratorio	38
3.6.1 Análisis químico de suelos.....	38
3.7 Análisis Estadístico	39

4 Resultados.....	40
4.1 Composición florística de brinzales.....	40
4.2 Diversidad de brinzales.....	41
4.3 Estructura física	41
4.4 Análisis de laboratorio para las muestras obtenidas con brinzales.....	42
4.5 Análisis de laboratorio para las muestras obtenidas sin brinzales.....	44
4.6 Relaciones entre variables.....	45
4.6.1 Correlaciones entre la diversidad y las propiedades físico químicas del suelo.	45
4.6.2 Correlaciones entre la estructura y las propiedades físico químicas del suelo.	46
4.7 Análisis de pH para las muestras obtenidas con brinzales.....	47
4.8 Regresiones lineales de las variables.....	47
5 Discusión.....	49
6 Conclusiones	53
7 Recomendaciones	54
Referencias bibliográficas.....	55
Apéndices.....	59

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Identificación de familias y morfoespecies en brinzales.	40
Tabla 2. Valores de índices de diversidad de brinzales.	41
Tabla 3. Datos de estructura física.	42
Tabla 4. Análisis de laboratorio de suelos para las subparcelas.	43
Tabla 5. pH de suelo sin brinzales.	44
Tabla 6. Correlaciones entre la diversidad y las propiedades fisicoquímicas del suelo.	45
Tabla 7. Correlaciones entre la estructura y las propiedades físico químicas del suelo.	46
Tabla 8. Análisis de pH de las 15 subparcelas con brinzales.....	47
Tabla 9. Regresiones lineales.....	48

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación del área de estudio en el municipio de Molagavita.	30
Figura 2. División de parcelas y sub-parcelas.....	33

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1. Identificación de cuadrantes.	59
Apéndice 2. Delimitación de sub parcelas.	59
Apéndice 3. Anclaje de tubos de pvc en sub parcelas.	60
Apéndice 4. Anclaje de tubos de pvc en sub parcelas.	60
Apéndice 5. Delimitación de sub parcelas.	61
Apéndice 6. Establecimiento de los vértices de las sub parcelas.	61
Apéndice 7. Identificación de sub parcelas.	62
Apéndice 8. Uniones de los vértices de las sub parcelas.	62
Apéndice 9. Plaqueta de identificación de sub parcela.	63
Apéndice 10. Sub parcela 5.	63
Apéndice 11. Sub parcela 2.	64
Apéndice 12. Medición de DAP.	64
Apéndice 13. Marcaje de especies.	65
Apéndice 14. Limpieza de la hojarasca.	65
Apéndice 15. Extracción de muestras de suelo sub parcela 3.	66
Apéndice 16. Toma de muestras de suelo sub parcela 1.	66
Apéndice 17. Ahoyado para la muestra de suelo.	67
Apéndice 18. Muestra de suelo.	67
Apéndice 19. Pesaje de las muestras de suelo sub parcela 5.	68
Apéndice 20. Pesaje de las muestras de suelo sub parcela 3.	68
Apéndice 21. Muestra de suelo sub parcela 1.	69
Apéndice 22. Muestra de suelo sub parcela 2.	69
Apéndice 23. Muestra de suelo sub parcela 3.	70
Apéndice 24. Muestra de suelo sub parcela 4.	70
Apéndice 25. Muestra de suelo sub parcela 5.	71
Apéndice 26. Medición del pH.	71
Apéndice 27. Muestra de suelo en el claro 1 del bosque.	72

Apéndice 28. Muestra de suelo en el claro 2 del bosque. 72

Resumen

Título: Efecto Sinérgico de las Propiedades Físicoquímicas del Suelo Sobre la Diversidad y Estructura de Plántulas en un Bosque Altoandino¹.

Autores: Angélica Katherine Domínguez Becerra.
Claudia Nataly Silva Silva².

Palabras clave: Brinzal, Robledal, Textura, Índices de vegetación.

Descripción:

A pesar de la importancia de los bosques altoandinos en la provisión de servicios ecosistémicos, existe poca información sobre las relaciones que se dan entre las características físico-químicas de los suelos, la diversidad y estructura de brinzales, esto particularmente en los robledales ubicados en la parte nororiental de la Cordillera Oriental de los Andes tropicales. Por lo anterior, se establecieron cinco parcelas permanentes en la vereda el Llano de Molagavita, de 0,1 ha cada una cada, divididas en subcuadrantes en donde se tomaron variables florísticas y estructurales de brinzales como la especie, la altura, el diámetro a la altura del pecho (DAP) o diámetro a la altura del cuello (DAC), el área basal y la densidad, además de tomar en los mismos sitios muestras de suelos para su análisis físico-químico en laboratorio. Se cuantificó la riqueza, diversidad y estructura de los brinzales mediante la implementación de diferentes indicadores como el cociente de mezcla e índices de diversidad de Simpson y Shannon-Wiener, estos indicadores se correlacionaron con las variables del suelo. Se encontró que los minerales como el Aluminio, el Fósforo, el Potasio y el Sodio, presentaron altas y positivas correlaciones con la diversidad y estructura. Además, el pH del suelo fue una variable que influyó significativamente sobre las poblaciones de brinzales en estos ecosistemas, ya que con menores pH mayor número de individuos se presentaron en los brinzales. A nivel físico-químico, se logró determinar que el suelo está conformado por Arena (48%), Limo (46%) y Arcilla (6%), determinando que los suelos son idóneos para las especies propias de la zona, lo cual es importante para futuras reforestaciones o manejos que se le pretendan hacer al bosque.

¹ Trabajo de Grado

² Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: BOTERO LONDOÑO, Julián Mauricio. PhD. en Ciencias Agrarias.

Abstract

Title: Synergy Effect of the Physicochemical Properties of the Soil on the Diversity and Structure of Seedlings in a High Andean Forest ³.

Authors: Angélica Katherine Domínguez Becerra.
Claudia Nataly Silva Silva⁴.

Keywords: Brinjal, Oak forests, Texture, Vegetation indices.

Description:

Despite the importance of high Andean forests in the provision of ecosystem services, there is little information on the relationships that exist between the physical-chemical characteristics of soils, the diversity and structure of seedlings, this particularly in oak forests located in the northeastern part of the Eastern Cordillera of the tropical Andes. Therefore, five permanent plots were established in the Llano de Molagavita village, of 0.1 ha each, divided into sub-quadrants where floristic and structural variables of saplings were taken such as species, height, diameter at the chest height (DAP) or diameter at neck height (DAC), basal area and density, in addition to taking soil samples from the same sites for physical-chemical analysis in the laboratory. The richness, diversity and structure of the seedlings were quantified by implementing different indicators such as the mixing ratio and Simpson and Shannon-Wiener diversity indices, these indicators were correlated with the soil variables. Minerals such as Aluminum, Phosphorus, Potassium and Sodium were found to have high and positive correlations with diversity and structure. In addition, the soil pH was a variable that significantly influenced the populations of seedlings in these ecosystems, since with lower pH, a greater number of individuals appeared in the seedlings. At a physical-chemical level, it was possible to determine that the soil is made up of Sand (48%), Silt (46%) and Clay (6%), determining that the soils are suitable for the species typical of the area, which is important for future reforestation or management of the forest.

³ Bachelor Thesis.

⁴ Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: BOTERO LONDOÑO, Julián Mauricio. PhD. en Ciencias Agrarias.

Introducción

Los bosques tropicales del mundo debido a su amplia distribución, elevada diversidad y contribución a funciones clave del planeta como la regulación climática e hidrológica, proveen una serie de servicios ecosistémicos críticos (Balvanera, 2012). Si bien los servicios ecosistémicos son los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas, los bosques tropicales, al igual que todos los ecosistemas del planeta, brindan beneficios a las poblaciones humanas. Estos beneficios se derivan de los componentes abióticos (agua, nutrientes, luz) y bióticos (plantas, hongos, animales, microorganismos) de los ecosistemas, así como de las interacciones entre ellos.

En los últimos tiempos los ecosistemas están siendo destruidos, modificados e impactados por los procesos de calentamiento global tales como deforestación, expansión de la frontera agrícola, entre otros, lo que altera así los servicios ecosistémicos que éstos proveen. La deforestación es uno de los mayores problemas que trae consigo consecuencias económicas y sociales, dejando como consecuencias negativas la fragmentación y degradación del hábitat como responsables de cambios en la estructura y función de los ecosistemas. La fragmentación provoca una disminución del tamaño medio de los parches de hábitat y la degradación del hábitat, por el contrario, no implica un cambio en la utilización del terreno, pero es también un problema grave en los trópicos (Cayuela, 2006).

La presente propuesta permitirá conocer las relaciones entre las propiedades físico-químicas del suelo y los brinzales de los bosques altoandinos, planteando la hipótesis de que el suelo puede llegar a presentar alteraciones en la diversidad y estructura de los brinzales. Esto debido a que el suelo juega un papel ambiental preponderante como reactor biofísico-químico que descompone materiales de desecho y recicla dentro de él nutrientes para el desarrollo de los brinzales, por tanto,

el suelo está considerado como uno de los factores abióticos más importantes para la recuperación de áreas y minimizar los impactos; además se pretende que la presente investigación sea un factor primordial para el cuidado, protección y estudio del suelo en los bosques.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la relación entre las propiedades físico-químicas del suelo con la diversidad y estructura de brinzales en un robledal.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la diversidad y estructura de los brinzales en el robledal.
- Caracterizar las propiedades físico-químicas del suelo en el robledal.
- Identificar la relación entre las propiedades físico-químicas del suelo con la diversidad y estructura de los brinzales.

2 Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Relaciones de propiedades físicoquímicas del suelo

La relación que tienen conjuntamente las propiedades físicas y químicas del suelo son de vital importancia para el desarrollo y la evolución de las plantas. Así mismo la capacidad de intercambio catiónico es una de las propiedades físicoquímicas más fundamentales en los suelos, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. De igual manera, se determina la concentración de iones tóxicos y diversas propiedades importantes que finalmente apuntan a la fertilidad del suelo.

Las propiedades físicas de los suelos están íntimamente relacionadas con los procesos químicos y biológicos que ocurren constantemente en el sistema edáfico. Una de las relaciones más complejas entre las propiedades físicas y químicas es la nutrición de las plantas, esta depende en gran parte de las condiciones de aireación y disponibilidad de agua que el suelo posee, de igual manera con el desarrollo de las raíces en el mismo. Por consiguiente, la capacidad del suelo de almacenar y transmitir calor tiene una influencia directa en sus tasas de crecimiento y desarrollo. Así mismo, las reacciones químicas y procesos enzimáticos que se llevan a cabo en el suelo, se ven influenciados por la temperatura que presenta el medio edáfico

Por esta razón la materia orgánica presente en el suelo es considerada un indicador de salud del mismo, es decir nos da a conocer la eficiencia que este puede tener en el desarrollo y evolución de

las plantas. Este nivel de materia orgánica depende del clima, del suelo y del manejo del mismo, en tanto que la heterogeneidad de sus propiedades afecta la distribución del contenido de humedad, que se materializa en las variaciones de la textura, en la cantidad de materia orgánica, en la estructura, y en las propiedades que controlan el movimiento del flujo de agua en el perfil edáfico (Ruscks et al., 2004). Como indican Hupet y Vanclooster (2002), la textura es uno de los factores que mayor control ejerce sobre la humedad del suelo, igualmente el pH es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana, así mismo la estructura de un suelo afecta procesos tales como el intercambio gaseoso, desarrollo de raíces, movimiento de agua y erosión del suelo.

Posteriormente, las plantas absorben los nutrientes que se encuentran disueltos en solución con el suelo y al presentarse situaciones de déficit de humedad las raíces no pueden aprovechar los nutrientes del sustrato, afectando el potencial productivo de las plantaciones (Muñoz, 2009).

✓ **Propiedades del suelo:** los suelos se describen frecuentemente a partir de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las propiedades físicas incluyen la textura, la densidad, la porosidad y la agregación. En las químicas se encuentra el pH, la capacidad de intercambio catiónico y la composición química del suelo en solución determinada por los macros y microelementos (Gómez, 2011; Hartel, 1998). Entendiendo la complejidad de los suelos se puede pensar en diferentes interacciones entre sus propiedades biológicas, físicas y químicas, las cuales influyen de diversas maneras los procesos que se llevan a cabo en el suelo. Usualmente es difícil separar las funciones del suelo en funciones químicas, físicas y biológicas debido a que estos procesos son normalmente dinámicos e interactivos y cualquier propiedad del suelo puede ser relevante para muchos atributos o funciones del suelo simultáneamente (Anjos, 1994).

✓ **Efectos de las propiedades físicoquímicas en el suelo:** como evidencia científica disponible está la adición de materia orgánica por la producción de biomasa, el aumento del contenido de nitrógeno por la fijación biológica, la reducción de la pérdida del suelo y de nutrientes por la protección que confieren los árboles contra la erosión hídrica y eólica, la liberación por medio del manejo de los nutrientes en el momento requerido por los cultivos, la mejora de las propiedades físicas como retención de agua y drenaje. Las especies arbóreas y arbustivas, presentan un sistema radicular mucho más profundo, que las gramíneas, lo cual les permite captar agua y nutrientes en perfiles del suelo más profundos, mejorando de esta manera la tolerancia de estas plantas al estrés de sequía (Flores y Umaña, 2006).

2.1.2 Diversidad y estructura de plántulas

Principalmente los ecosistemas andinos son reconocidos como uno de los principales centros de diversidad y especiación en el mundo. Dentro de estos se encuentran los robledales, ecosistemas boscosos dominados por *Quercus homboltii*, los cuales tiene un gran potencial ecológico y florístico, de igual manera los bosques andinos son de vital importancia puesto que de una forma diferente sirven como hábitat de asentamiento humano y proveer materias primas como madera, cortezas y semillas, esto a su vez contribuyendo con el desarrollo económico y social del país, así mismo prestan otros servicios ambientales muy valiosos como el ser hábitat de flora y fauna silvestre, proteger y regular las cuencas hidrográficas, evitar y mitigar la erosión de los suelos (León y Giraldo, 1997).

Las plántulas pueden presentar una estructura vertical y horizontal, por tanto, la estructura horizontal se evidencia a través de las características del suelo, clima, estrategias de las especies y

efectos sobre la dinámica del bosque, además se determina la estructura horizontal, la cual se refleja en la distribución de los árboles por clase diamétrica; de igual manera, esta estructura es resultado de la respuesta de las plantas al ambiente, limitaciones y amenazas que este presenta; la estructura horizontal se puede expresar mediante la distribución del número de individuos y el área basal por clases de diámetro (Lamprecht, 1990; Melo y Vargas, 2003). Así mismo, la estructura vertical de un bosque está determinada por la distribución de los organismos, tanto de animales como de plantas a lo alto de su perfil; además se presenta en función de las características biológicas de las especies y las condiciones ambientales en diferentes alturas o estratos (Louman et al., 2001).

2.1.3 Robledal

En la Cordillera Oriental se encuentran los bosques de roble más representativos del país, en los cuales se han realizado estudios de estructura y composición de la vegetación. Los robledales al igual que la mayoría de bosques andinos, fueron objeto de un intenso aprovechamiento y disminución de su área de distribución, razón por la cual su uso fue vedado. No obstante, actualmente se considera que la extracción puede realizarse por medio del levantamiento de vedas locales (resolución 0316 de 1974, resolución 1408 de 1975, resolución 096 de 2006). Además, teniendo en cuenta que el rango de distribución del roble ha sido reducido al 42% del original, Cárdenas y Salinas (2007), categorizaron la especie como especie vulnerable (VU) de acuerdo con los estándares de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

Principalmente el género *Quercus* reúne algunas de las especies de árbol más importantes en todo el hemisferio Norte, no sólo por su amplia distribución espacial y su relevante papel ecológico

en los ecosistemas de los que forman parte, sino también por la diversidad de servicios ecosistémicos que proporcionan (culturales, secuestro de carbono o aprovisionamiento) (Marañón et al., 2012)

Según Vargas (2002) los robles tienen ciertas características y son considerados árboles de hojas alternas, a veces opuestas o verticiladas, de hojas simples, enteras, estipuladas, con flores unisexuales, las flores masculinas comprendiendo entre 4-40 estambres con filamentos filiformes, anteras basifijas, biceldadas y dehiscencia longitudinal. Las flores femeninas solitarias o en grupos pequeños en un involucre de brácteas imbricadas, encímulas de 2-3 flores con o sin involucre, ovario ínfero, adherido a un perianto de 4-6 lóbulos, triceldado con 6 rudimentos seminales. El fruto es una nuez formado por numerosas brácteas pequeñas y coriáceas, además son especialmente apetitosas para una gran diversidad de animales debido a su gran tamaño y al elevado contenido nutricional que poseen.

Otro aspecto muy valioso el cual presentan este tipo de especies es la polinización anemófila la cual es el traslado de polen por viento para aumentar o asegurar la fecundación, este tipo de polinización es típica de especies que presentan altas densidades poblacionales donde todos los individuos de una población se reproducen en la misma época del año y liberan el polen sincronizada mente en un corto período de tiempo (Lozano et al., 1979).

2.2 Estado del Arte

Para Cavelier & Santos (1999), los suelos de bosques con brinzales y los suelos sin vegetación arbórea o pastizales, no presentan diferencias respecto a su textura, adicionalmente dentro de su investigación lograron determinar que, en ausencia de especies arbóreas, los suelos no sufrían

alteraciones en los niveles de pH, dentro de los resultados más relevantes se determinó que los suelos con bosques y con pastizales, presentaban el mismo nivel de fertilidad.

Lo encontrado por Lima (1987) fue que los suelos no representan alteración en las coberturas vegetales, puesto que por medio de los análisis comparativos entre el brinzal, los claros en los bosques, la biomasa de raíces y la hojarasca con las propiedades físico-químicas del suelo, no representaron variaciones significativas respecto a los niveles de los nutrientes necesarios para las plantas, ya que los suelos con diferentes coberturas vegetales presentaron resultados similares en los análisis físico-químicos, ratificando de esta manera que la cantidad de individuos y especies de un bosque no van relaciones con las variables físico-químicas de los suelos.

Según Cavelier & Tobler (1998), los suelos no representan alteraciones en la posibilidad de presentar una variación en la diversidad en los bosques o zonas naturales, ya que por medio de la investigación que realizaron en bosques con especies de pinos y cipreses, determinaron que las acículas que se acumulaban en el suelo inhibían el desarrollo y crecimiento a nivel de brinzal en todas las plántulas de especies nativas, por consiguiente, afirman que los suelos tienen incidencia en el desarrollo de las plantas mas no en la diversidad de los boques.

Algunas especies forestales llegan a presentar un desarrollo y crecimiento normal en suelos con abundantes niveles de hojarasca, como ejemplo se puede hablar del *Ceroxylon quindiuense* de la familia Arecaceae, quien logra desarrollarse en suelos con abundantes acículas de *Pinus radiata*, por ende, se afirmó en la investigación que, para las semillas de algunas especies, la presencia de hojarasca no incide en el desarrollo de las plantas, dejando como hipótesis que las condiciones físico químicas del suelo, podrían llegar a ser las que tengan relación con el desarrollo de los individuos y la diversidad de los bosques, puesto que afirman que la acumulación de acículas u hojarascas provenientes de cualquier especie, podrían alterar las condiciones físico-químicas

naturales de los suelos, inhibiendo el desarrollo de las especies nativas, por ende disminuyendo la diversidad (Madriñan & Schultes, 1995).

Lugo (1992), determinó a nivel estructural, que las plantaciones con coníferas y los bosques con brinzales presentaron diferencias en la acumulación de la biomasa aérea, además comprobó que los bosques con brinzales presentan densidades mayores y los bosques de pinos o cipreses cuentan con mayores alturas a nivel de dosel y áreas basales, debido a esto llegó a la conclusión, que el tipo de bosque o las especies presentes alteran significativamente el desarrollo de las plántulas a nivel de brinzal, puesto que factores como el sombrero por los doseles o las mayores densidades de especies por metro cuadrado, son más significativas que el tipo de suelo o los componentes mineralógicos presentes en el.

En la investigación realizada por Hofstede (1997), determinó que los suelos desnudos o pastizales, los suelos con bosques naturales sin hojarasca y con hojarasca, no presentan diferencias entre las propiedades físico-químicas, aclarando que los suelos desnudos o pastizales, tenían ubicaciones en claros dentro del bosque y en zonas aledañas alrededor de la frontera del bosque o el cambio de cobertura boscosa a pastizal, con distancias máximas de 100 m.

La comparación de suelos con especies de coníferas y suelos con especies de latifoliadas, no representaron diferencias respecto a las propiedades físico-químicas, ya que los Horizonte A y la textura de los suelos, por estar en la misma zona boscosa no presentaron diferencias significativas, adicionalmente los horizontes orgánicos de cada tipo de bosque presentaron diferencias significativas, ya que la hojarasca de coníferas y latifoliadas, presentan diferentes composiciones químicas, que por medio de la descomposiciones representan diferentes aportes nutricionales al suelo, debido a esto se determinó que horizonte orgánico es la variables que determina el desarrollo

y diversidad del bosque, puesto que el bosque con especies latifoliadas presentó mayores individuos y especies en el brinzal, en comparación con el bosque de coníferas (León, 1997).

Las afirmaciones de Aguirre et al. (2008), tienen como finalidad de entender el desarrollo de los bosques, se requiere analizar el brinzal de los mismos, teniendo en cuenta factores como el crecimiento, la estructura y la producción, puesto que de esta manera se puede llegar a detectar cambios en la diversidad del bosque, pensando en un cambio de las especies crecientes con las establecidas en el fustal. Por otra parte, Jiménez et al. (2001) estableció que la mejor forma para evaluar los bosques naturales, es por medio de factores como la abundancia, la dominancia y la frecuencia de las especies, ya que con estos factores se determina la relación que tienen las especies dentro de la población del bosque evaluado, adicionalmente estableció la hipótesis de como el suelo podría llegar a generar alteraciones en las estructuras y diversidades de los bosques.

Se realizó el estudio de la influencia de los suelos y sus propiedades, en la estructura y diversidad del bosque, en una parcela de 6 ha ubicada en un bosque de tierra firme del parque natural Amacayacu, tomando como variables el área basal y densidad de individuos del sotobosque, contrastando con propiedades del suelo como la presencia de pH, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Aluminio, materia orgánica, arena, limo y arcilla (Calle et al., 2011).

Con el objetivo de determinar la relación entre la composición físico-química del suelo con la diversidad vegetal presente en una zona determinada, se establecieron dos áreas de trabajo, en bosques diferentes, ubicados entre los páramos de ovejas y el de paja blanca, ecosistemas cerrados, en los cuales se establecieron en cada uno de ellos, 20 parcelas de 1 m cuadrado separadas entre sí por más de 100 m, en las cuales se estudiaron indicadores importantes, que fueron contrastadas con características del suelo como pH, materia orgánica, Fósforo disponible, Aluminio intercambiable y Nitrógeno total (Samboní & Cabrera, 2017).

Se determinó la diversidad florística y arbórea de un bosque pluvial y su relación con las características del suelo, para lo cual se establecieron dos parcelas cada una de 1 ha, estudiando plántulas con DAP menor o igual de 10 cm y su relación con las propiedades de nutrientes del suelo, su fisionomía topográfica y el espacio donde se ubican (Quinto & Moreno, 2014).

Se llevó a cabo estudio de los brinzales de un bosque tropical seco, ubicado en Costa Rica, se establecieron 20 parcelas de estudio, contrastando características de diversidad como DAP menores de 10 cm, y altura total de árboles jóvenes, con las características y tipos de suelos presentes en las áreas de estudio, en relación con sus componentes (Leiva et al., 2009).

Se realizó un estudio en bosques de España, afectados por incendios y los cambios que estos generaron en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo y como a su vez estas afectaron la conservación y los brinzales del mismo, se evaluaron zonas de incendios previos y zonas de quema controlada de 1500 m² en zona forestal, contrastando los efectos de los incendios sobre los suelos y sus características fisicoquímicas, estudiando factores como la cantidad de cenizas, agregados estables, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fosforo asimilable, carbonatos entre otros, para determinar el grado de afectación en los brinzales, de dichas zonas de estudio (Mataix, 1999).

2.3 Marco Conceptual

Biodiversidad: hace referencia a la variación de las formas de vida y se manifiesta en la diversidad genética, de poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y paisajes. Esta reviste gran importancia por los servicios ambientales que se derivan de ella y por sus múltiples usos, siendo de vital importancia ya que brindan las posibilidades de adaptación a la población humana

y a otras especies frente a variaciones en el entorno representando la base fundamental para el desarrollo sostenible.

Bosque altoandino: constituyen ecosistemas forestales con una flora y una estructura características. Están influidos por condiciones climáticas que controlan en parte su funcionamiento. Entre estos bosques, los alto-andinos se ubican normalmente en una franja altitudinal donde el ambiente se caracteriza por una cobertura de nubes persistente o estacional. Bosques comprendidos en la franja entre 2900 a 3800 m s. n. m. que se caracterizan como un estrato de árboles y arbustos entre 3 y 8 m de alto, con predominio de compuestas. Son representativos de esta categoría los robledales y los bosques de niebla, la gran mayoría ubicados en relictos en las cuencas Sinú-Caribe, Caquetá, Meta, Patía, río Catatumbo, alto y medio Magdalena, medio Cauca, río Atrato y Sabana de Bogotá (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2019).

Composición florística: características exclusivas o diferenciales indicadoras de condiciones ecológicas. Las descripciones florísticas involucran una masa de información cuya interpretación sólo es posible después de ordenarla y simplificarla. Una vez colectados los datos se ordena y se simplifica la información con el fin de llegar a una interpretación de las características florísticas de la región evaluada.

Conservación: esfuerzo consciente y mancomunado entre individuos y/o instituciones, estatales y/o privadas, para evitar la degradación excesiva de los ecosistemas. Uso presente y futuro, racional, eficaz y eficiente de los recursos naturales y su ambiente.

Inventario forestal: analiza las comunidades forestales desde el punto de vista florístico y estructural, permitiendo conocer la composición de especies, la estructura biológica, los rasgos

físicos que, combinados con el número de individuos, generan o determinan las características particulares del bosque.

Suelo: es la capa más superficial de la corteza de la tierra, la que ha sido transformada lentamente por la descomposición de diversos organismos a través de la acción meteorológica (aire, agua, temperatura, etc.), la acción de la vegetación (crecimiento y descomposición de material vegetal) y del ser humano (cultivos, ganadería, etc.) (Jaramillo, Parra, & González, 1994). El material original del cual un suelo se forma puede ser la roca subyacente o los depósitos de los ríos y de los mares (suelos aluvionales) y del viento (suelos eólicos, tales como el loess) o suelos de cenizas volcánicas. Es, además, la capa de la corteza donde se origina el proceso de germinación y crecimiento de la vegetación presente en un determinado sitio.

Roble: reciben este nombre diferentes individuos de la familia de los Fagaceae, a cuya especie se le llama *Quercus*, es originario del hemisferio norte. En Colombia la especie más común es la *Quercus humboldtii*, llamada también roble de suelos fríos, prefiere suelos húmedos y arcillosos con alta acidez compuestos por gruesa capa de humus, alcanzan una altura de entre 18 y 25 m, sus hojas son largas y anchas, de madera muy apreciada por sus buenas características para la carpintería y la ebanistería, muy popular en la vendimia por sus cualidades aromáticas para el añejamiento del vino; A día de hoy se encuentra declarado como especie de alta vulnerabilidad o protegida.

Estructura: se refiere a la forma en la que se encuentran distribuidas las diferentes especies vegetales que se pueden encontrar en una determinada área, las cuales pueden ser medidas y categorizadas en dos grupos principales, (estructura horizontal y estructura vertical).

Estructura horizontal: hace referencia a las diferentes especies y su cantidad de individuos presentes en una determinada zona, se mide por número de individuos y se toma como referencia todas aquellas especies que hagan parte de la zona delimitada.

Estructura vertical: hace referencia a los individuos clasificados por rangos diamétricos, que se encuentran presentes en un área determinada y que serán objeto de algún estudio.

Brinzal: se denomina de esta forma, a los individuos de una especie que se encuentran en la primera etapa de su desarrollo arbóreo, siendo delimitados por alturas que no deben sobrepasar los 10 cm, que se encuentran presentes en un área de regeneración natural.

2.4 Marco Jurídico

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Decreto 2811 (18, diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Congreso de Colombia, 1974).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 99 (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones (Congreso de Colombia, 1993).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 165 (09, noviembre, 1994). Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992 (Congreso de Colombia, 1994).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 900 (21, julio, 2004). Por el cual se reglamenta el Certificado de Incentivo Forestal para Conservación.” “Artículo 1 El presente

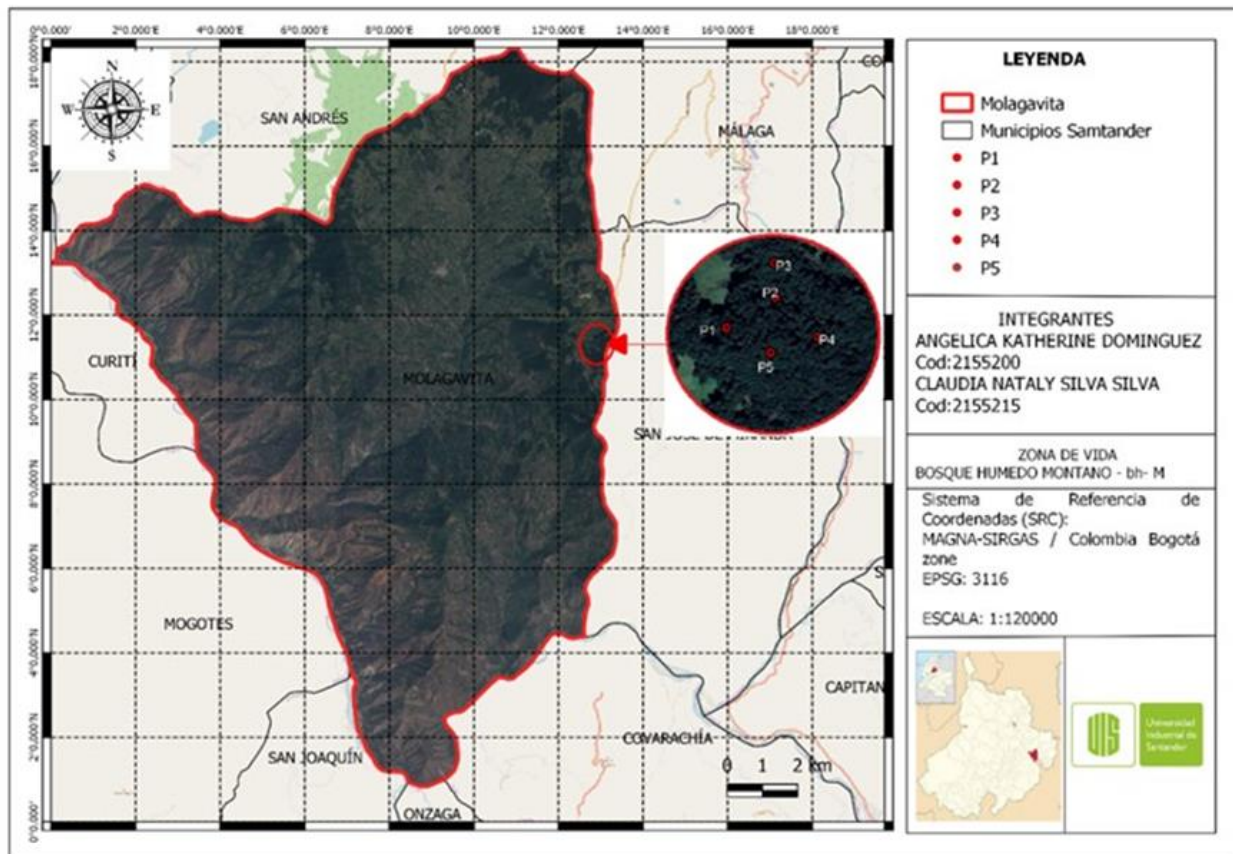
Decreto reglamenta el incentivo forestal con fines de conservación establecido en la Ley 139 de 1994 (Congreso de Colombia, 1997).

3 Metodología

3.1 Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en un área boscosa en la vereda El Llano del municipio de Molagavita (Figura 1), zona que se encuentra a una altitud aproximada de 3150 m s. n. m., con una temperatura media anual que oscila entre los 9 °C y los 13 °C, y que comprende una zona de vida correspondiente a bosque húmedo (bh-M) según la clasificación (Holdridge, 1987). En la Figura 1 se presenta el mapa con la ubicación del área de estudio y las parcelas permanentes.

Figura 1. Ubicación del área de estudio en el municipio de Molagavita.



3.2 Tipo de estudio

Exploratorio – descriptivo por medio del cual se busca obtener los datos necesarios para dar respuesta al problema, posibilitando una investigación con cercanía a las relaciones fisicoquímicas del suelo; buscando analizar con esos datos de estudio la composición de los suelos y sus relaciones fisicoquímicas, con las características de la vegetación presente en el área de estudio.

El proceso metodológico inicio con la selección del sitio de trabajo, se procedió a hacer visitas de campo para la observación del terreno, una vez determinada la viabilidad del sitio escogido, se tomó como referencia cinco parcelas permanentes establecidas por (Jaimes y Rosales, 2019). Posteriormente, se escogió aleatoriamente un cuadrante de cada parcela para allí instalar una sub-parcela de 5m x 5 m. Dadas las condiciones anteriores, se realizó la toma de muestras de cada uno de los cuadrantes establecidos y se procedió a la estructuración de las bases de datos, para analizar los indicadores necesarios, obteniendo así los datos de referencia para el estudio.

3.3 Trabajo de campo

3.3.1 Montaje de parcelas.

Se tomó como referencia la metodología y las cinco parcelas permanentes hechas por Jaimes y Rosales (2019), cada una de 0,1 ha, de forma rectangular con medidas de (50 m x 20 m), debido a que el terreno no es completamente plano se realizó la respectiva corrección de pendiente al momento del establecimiento de las parcelas, esto se hizo mediante el método indirecto, el cual consiste en calcular la distancia inclinada que se debe medir sobre el terreno. Una vez hecha la corrección de pendiente, se manejó una brújula de precisión y cinta métrica con lo que se construyó una red de 10 m x 10 m la cual formó un total de 10 cuadrantes por cada parcela instalada, cada cuadrante se precisó con tubos PVC de 1 m de largo insertados por medio de un mazo de goma. Los tubos se perforaron en la parte superior, donde se instaló una plaqueta de papel foil de dimensiones 7 cm x 4 cm, que contiene el número de la parcela y la letra del cuadrante al que pertenezca (A, B, C, D, E, F, G, H, I y J). Luego se delimitó el área de la parcela con una pita de polipropileno color blanco, montando cuadrante por cuadrante para al final definir toda la faja, esto para evitar errores de rumbo a medida que se van precisando las distancias.

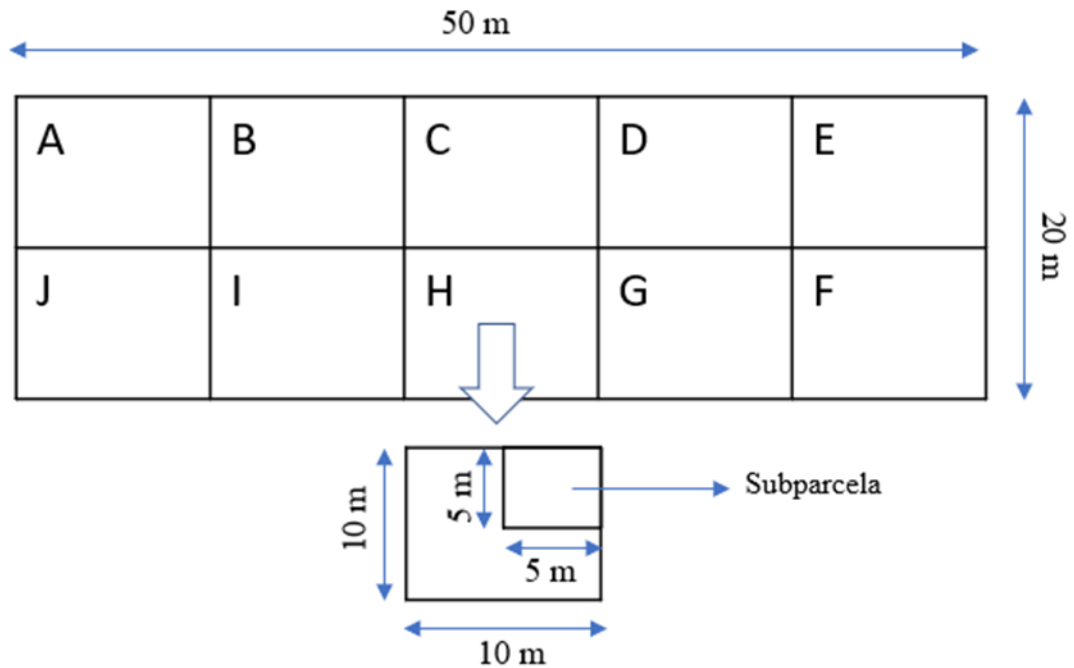
3.3.3 Montaje de subparcelas.

En cada parcela, se realizó la división en sub-parcelas, de 5 m x 5 m, ubicadas al azar, quedando de la siguiente manera, para la primera parcela se instaló la subparcela en el cuadrante H (P₁S-H), para la segunda en el cuadrante B (P₂S-B), para la tercera en el cuadrante B (P₃S-B), para la cuarta en el cuadrante H (P₄S-H) y para la quinta en el cuadrante D (P₅S-D), seguidamente se insertó un tubo PVC en el centro del cuadrante según el vértice de corte entre las distancias, siendo este,

punto de referencia para la señalización con su respectiva plaqueta de papel foil el cual contiene la letra del cuadrante y el número de la parcela en la que se encuentra ubicado, así mismo se delimito el área con cinta amarilla, para realizar allí la toma de muestras.

En la Figura 2, se muestra el esquema de división del área de trabajo, en parcelas y subparcelas.

Figura 2. División de parcelas y sub-parcelas.



3.4 Toma de datos

3.4.1 Brinzales.

La toma de los datos se efectuó mediante la medición de la regeneración que se encontró en cada subparcela, así mismo, se tuvieron en cuenta parámetros importantes como: DAC este se midió entre 0,5 cm y 2,49 cm, siempre a 2 cm de la base, así mismo, para los individuos que presentaron alturas aproximadas a 1,30 m se le tomó DAP que correspondió entre 0,5 cm y 2,49 cm. Para lo anterior se hizo el respectivo uso del instrumento calibre Vernier (pie de rey) de acuerdo al tamaño de los individuos a medir. De igual manera se midieron sus alturas con un flexómetro, desde la base hasta la última hoja de la planta, para este caso solo entraron las plantas con alturas de hasta 2 m.

Para finalizar, se identificó la especie registrada en el formato según conocimientos botánicos, luego en una plaqueta de papel foil se escribió la letra del cuadrante y el número del ejemplar con el uso de un lapicero ranchado y repisando lo escrito con un sharpie color negro, en seguida se sujetó con un alambre dulce suficientemente amplio para que en un futuro cuando el árbol tome crecimiento no se estrangule.

3.4.2 Muestras de suelos con brinzales del bosque.

Para el análisis de suelos de cada sub-parcela se hizo un recorrido en zig - zag dentro de la misma recolectando 100 g de suelo, con la ayuda de un barreno, las muestras fueron tomadas a una profundidad de 30 cm y luego colocadas en bolsas plásticas ziploc. Posteriormente, se llevaron al secado a temperatura ambiente, ya teniendo las cinco muestras de suelos secas, estas fueron

trasladadas al laboratorio GanaCampo ubicado en la ciudad de Bucaramanga para su respectivo análisis.

3.4.3 Muestras de suelos sin brinzales vegetal del bosque.

Para el análisis de suelos fuera del bosque se midieron 30 m desde el límite de la franja de los árboles forestales del bosque y en los claros del bosque, extrayendo la muestra de seis puntos al azar y alrededor de la masa boscosa, recolectando 100 g de suelo con la ayuda de un barreno. Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 30 cm y luego colocadas en bolsas plásticas ziploc. Posteriormente, se llevaron al secado a temperatura ambiente, ya teniendo las muestras de suelos secas, se les determinaron los valores de pH por medio de un pH-metro.

3.5 Procesamiento de datos

Una vez realizada y procesada la base de datos, se calcularon las diferentes variables: índices de diversidad de Shannon-Weiner (H') y Simpson (S), Cociente de Mezcla, altura media, diámetro de copa medio, diámetro a la altura del cuello (DAC), diámetro a la altura del pecho (DAP), especie, propiedades físicas del suelo como: textura, granulometría; propiedades químicas como: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, Fósforo, Azufre, Boro disponibles en el suelo, Acidez, Aluminio e Hidrogeno intercambiables, Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre y Nitrógeno total.

3.5.1 Diversidad y estructura de plántulas.

La diversidad y composición florística se refiere al estudio de las diferentes especies que conforman la comunidad vegetal, para su determinación en el área, se obtuvo el número de familias, morfoespecies e individuos por subparcela, además del número de especies e individuos por familia. Dentro de las subparcelas de 5m x 5m se midieron en las plántulas, las variables tales como: altura total mayor a 30 cm y diámetro a la altura del pecho (DAP), o diámetro a la altura del cuello (DAC) con valores que oscilan entre 0,5 cm y 2,49 cm, para obtener una mejor representación de los estratos inferiores (sotobosque). Se calcularon los índices de diversidad: Shannon-Weiner (H') y Simpson (S).

3.5.1.1 Diversidad alfa. La diversidad alfa (α), se evaluó mediante el uso de modelos paramétricos que describen de forma gráfica la distribución de la abundancia de especies en función (más a menos abundante) y tiene diversas interpretaciones biológicas y ecológicas (Magurran, 2004). Los índices que se emplearon para la medición fueron:

Shannon-Wiener: Con la ayuda de este índice se determinó que tan uniformemente están representadas las especies teniendo en cuenta el total de especies muestreadas, ayudando a cuantificar la biodiversidad específica en cada una de las unidades de muestreo (Villareal et al., 2004). Matemáticamente, el índice de Shannon se expresa de la siguiente forma:

$$H' = - \sum (P_i) * (L_n(P_i))$$

H' = Índice de Shannon-Wiener.

P_i = Es la abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie (i), dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Simpson (D): Evalúa la probabilidad de que dos individuos sacados al azar dentro de una muestra resulten ser de la misma especie. Este índice tiene en cuenta las especies más representativas (dominantes) dentro de la muestra, a mayor dominancia menor diversidad (Villareal, et al, 2004). Matemáticamente, el Índice de Simpson se expresa de la siguiente forma:

$$\lambda = \sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$$

λ = Índice de Simpson.

n_i = Es el número total de organismos de una especie en particular.

N = Es el número total de organismos de todas las especies.

Coefficiente de mezcla de heterogeneidad florística: Se utilizó como indicador del grado de homogeneidad o heterogeneidad de las coberturas. Este factor relaciona el número de especies y el número de individuos totales y sirve para tener una idea del grado de intensidad de mezcla, es decir, de la forma como se distribuyen los individuos de las diferentes especies dentro de las coberturas.

Los valores del Cociente de Mezcla se correlacionan con el DAP mínimo de registro y con el tamaño del muestreo. El cálculo de este parámetro se efectuó mediante la siguiente expresión:

$$CM = \sum (n_i * S)$$

CM = Coeficiente de Mezcla de Heterogeneidad Florística.

n_i = Representa al número total de individuos de todas las especies en la cobertura (i).

S = Número total de especies en la cobertura (i).

3.5.1.2 Estructura física. Para el análisis de la estructura física del bosque, se determinaron algunas variables estructurales y parámetros descriptivos de la estructura horizontal y vertical de cada plántula.

Estructura vertical: Se determinó con la distribución de alturas de los brinzales.

Estructura horizontal: Se midió la densidad (número individuos/ha), DAP medio o DAC medio de cada brinzal y el área basal (m^2/ha).

Los resultados de área basal y densidad, se obtuvieron a partir de los datos del DAP y el número de individuos registrados, respectivamente. Para esto se consideró el número y tamaño de las parcelas para extrapolar los valores a hectárea.

3.6 Análisis de laboratorio

3.6.1 Análisis químico de suelos.

pH: Método potenciométrico, peso/volumen.

Carbono orgánico: Digestibilidad vía húmeda con titulación (Walkley & Black). El contenido en carbono orgánico se multiplicará por 1,724 (100 g materia orgánica: 58 g de carbono) para determinar el contenido en materia orgánica.

Bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio, sodio): cuantificación por espectrofotometría de absorción y emisión atómica.

Fósforo disponible: Bray II utilizando un espectrofotómetro ultravioleta visible.

Azufre disponible: Extracción con monofosfato de calcio 0.008M y cuantificación turbidimétrica, utilizando un espectrofotómetro ultravioleta visible.

Boro disponible en suelos: Extracción con agua caliente y cuantificación colorimétrica con azometina – H, utilizando un espectrofotómetro ultravioleta visible.

Acidez, aluminio e hidrogeno intercambiables: Extracción con KCl 1N (titulación).

Hierro, manganeso, zinc y cobre: extracción con DTPA y cuantificación por absorción atómica.

Nitrógeno total: Se determinará utilizando un analizador elemental CHNSO.

(Protocolos Laboratorio Ganacampo, Bucaramanga Santander).

3.7 Análisis Estadístico

Para la realización de los análisis estadísticos se emplearon los programas Excel (2016) para cálculos estadísticos e índices de diversidad y el programa R-Project para la obtención de correlaciones, regresiones y análisis de componentes principales.

Nota: En la presente investigación se tenía planteado, el análisis de laboratorio para 15 subparcelas, pero por motivos del COVID-19 y estatutos gubernamentales, no se pudo realizar el análisis de 10 subparcelas, ya que los laboratorios se iban a realizar en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander – sede Málaga, pero dichos laboratorios no estaban en servicio los análisis de muestras. Por consiguiente, se tuvieron que realizar en otros laboratorios que si estaban laborando (GanaCampo), adicionalmente no se tenía presupuestado el costo de los laboratorios, debido a esto y motivos económicos, solo se pudieron analizar cinco subparcelas.

4 Resultados.

Una vez procesada la base de datos, se realizaron los respectivos análisis anteriormente descritos en la metodología, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1 Composición florística de brinzales

Al realizar el inventario florístico de brinzales (Tabla 1), se registraron en total 89 individuos pertenecientes a 12 familias, las familias con mayor número de individuos fueron Fagaceae y Primulaceae, mientras que las de menor número fueron la Adoxaceae, Brunelliaceae y Cunoniaceae.

Tabla 1.

Identificación de familias y morfoespecies en brinzales.

Familia	N° Individuos	Nombre Científico
Adoxaceae	1	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth
Araliaceae	3	<i>Schefflera cf. silvatica</i> Cuatrec
Brunelliaceae	1	<i>Brunellia sp. 1</i>
Chloranthaceae	9	<i>Hedyosmum racemosum</i> (Ruiz & Pav.) G.Don
Clusiaceae	13	<i>Clusia sp. 1</i>
Cunoniaceae	1	<i>Weinmannia tomentosa</i> L.f
Fagaceae	23	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.
Lauraceae	2	<i>Persea sp. 1</i>
Loranthaceae	4	<i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav) G.Don
Melastomataceae	9	<i>Miconia serrulata</i> (DC.) Naudin <i>Miconia sp. 1</i>
Primulaceae	20	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult
Symplocaceae	3	<i>Symplocos sp. 1</i>

4.2 Diversidad de brinzales

Los datos presentados en la Tabla 2, indican que la parcela con mayor riqueza y abundancia absoluta es la P1S-H, con un total de ocho especies y 23 individuos, además presentó los valores más elevados del índice de Simpson (0,80) y Shannon-Wiener (1,81). Por otra parte, la parcela P1S-D mostró un menor reporte con tres especies y 11 individuos, mientras que el índice de Simpson y Shannon-Wiener dieron, los valores más bajos (0,43 y 0,76, respectivamente). A nivel general, el cociente de mezcla permite definir que los brinzales del bosque, tiende a ser homogéneos.

Tabla 2.

Valores de índices de diversidad de brinzales.

Subparcela	Riqueza	Abundancia absoluta	Simpson	Shannon Wiener	Cociente de mezcla
P ₁ S-H	8	23	0,80	1,81	0,35
P ₂ S-B	4	16	0,54	0,99	0,25
P ₃ S-B	6	20	0,49	1,08	0,30
P ₄ S-H	4	19	0,74	1,37	0,21
P ₅ S-D	3	11	0,43	0,76	0,27
Total	25	89	-	-	-

4.3 Estructura física

Se determinaron las alturas medias, DAP medio o DAC medio, área basal medio y densidad de cada subparcela muestreada. En la Tabla 3, se puede observar que P₁S-H presentó la altura media, el AB DAP medio y la densidad más relevante en comparación con las demás subparcelas, además se logró determinar que el AB DAC más elevado se dio en P₂S-B.

Tabla 3.

Datos de estructura física.

Subparcela	Altura (cm)	AB DAP (cm)	AB DAC (cm)	Densidad (individuos/ha)
P ₁ S-H	1,12 ($\pm 0,28$)	0,00019 ($\pm 0,00012$)	0,00006 ($\pm 0,00006$)	9200
P ₂ S-B	0,99 ($\pm 0,16$)	0,00015 ($\pm 0,00013$)	0,00010 ($\pm 0,00008$)	6400
P ₃ S-B	0,58 ($\pm 0,37$)	0,00003 ($\pm 0,00001$)	0,00004 ($\pm 0,00003$)	8000
P ₄ S-H	0,77 ($\pm 0,32$)	0,00015 ($\pm 0,00010$)	0,00004 ($\pm 0,00002$)	7600
P ₅ S-D	0,98 ($\pm 0,45$)	0,00009 ($\pm 0,00005$)	0,00006 ($\pm 0,00005$)	4400
Promedio	0,89 ($\pm 0,22$)	0,00014 ($\pm 0,00008$)	0,00006 ($\pm 0,00003$)	7120 ($\pm 1819,89$)

4.4 Análisis de laboratorio para las muestras obtenidas con brinzales

Según los análisis obtenidos en el laboratorio GanaCampo se logró determinar que el suelo en el robledal carece de Nitrógeno, ya que el porcentaje más alto fue de 0,47%; además, se observó que en la Parcela 1 se encontró el valor más bajo de Materia Orgánica (5,65 %), en la 2 y 3 los valores mayores a 8% llegando inclusive hasta el 9,36%.

Tabla 4.

Análisis de laboratorio de suelos para las subparcelas.

Subparcela		P₁S-H	P₂S-B	P₃S-B	P₄S-H	P₅S-D
Propiedades químicas	pH	4,20	3,99	3,66	3,59	3,21
	Materia Orgánica (%)	5,65	8,03	9,36	6,96	7,37
	Carbono (%)	3,28	4,66	5,43	4,04	4,27
	Nitrógeno (%)	0,28	0,40	0,47	0,35	0,37
	Aluminio (meq/100 g)	6,55	7,70	9,00	7,60	2,55
	Fosforo (ppm)	2,92	13,40	17,90	9,17	8,94
	Potasio (meq/100 g)	0,26	0,27	0,32	0,31	0,35
	Calcio (meq/100 g)	1,27	1,16	1,33	0,85	1,06
	Magnesio (meq/100 g)	0,37	0,32	0,37	0,35	0,36
	Sodio (meq/100 g)	0,50	0,55	0,41	0,36	0,48
	Hierro (ppm)	621	655	264	496	314
	Manganeso (ppm)	0,23	0,04	0,47	0,86	1,37
	Cobre (ppm)	0,01	0,01	0,12	0,10	0,20
	Zinc (ppm)	0,34	0,46	0,97	0,89	1,76
	Azufre (ppm)	5,09	5,80	7,59	4,91	3,48
	Boro (ppm)	0,09	0,20	0,24	0,07	0,07
Propiedades físicas	Arena (%)	48	56	50	52	62
	Limo (%)	46	40	36	38	34
	Arcilla (%)	6	4	14	10	4
	Textura	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco	Franco	Franco

4.5 Análisis de laboratorio para las muestras obtenidas sin brinzales.

Según los análisis de pH, se logró determinar que los suelos con cobertura vegetal del bosque de robledal y los suelos sin cobertura vegetal, pero aledaños al bosque presentaron resultados similares de pH, cabe resaltar que a estas muestras solo se les calculo el pH, por motivos económicos.

Tabla 5.

pH de suelo sin brinzales.

Muestra	pH
Entrada del bosque robledal muestra 1	4,1
Entrada del bosque robledal muestra 2	4,2
Entrada del bosque robledal muestra 3	4,1
Claro del bosque robledal muestra 1	3,4
Claro del bosque robledal muestra 2	3,6
Claro del bosque robledal muestra 3	3,7
Extremo del bosque robledal muestra 1	4,0
Extremo del bosque robledal muestra 2	4,1
Extremo del bosque robledal muestra 3	4,1

4.6 Relaciones entre variables

4.6.1 Correlaciones entre la diversidad y las propiedades físico químicas del suelo.

Se determinó que las correlaciones altas para Riqueza, Abundancia absoluta, índice de Simpson, índice de Shannon-Wiener y el cociente de mezcla (CM), se dieron con las variables Limo y pH, pero este último con el CM presento un valor de 0,46 que se puede tomar como una correlación media, las variables Aluminio, Azufre y Arcilla presentaron correlaciones altas con la Abundancia absoluta, por otra parte, la variable Hierro presentó correlaciones altas con Simpson y Shannon-Wiener, asimismo las variables Calcio y Magnesio presentaron altas correlaciones con la Riqueza y el CM.

Tabla 6.

Correlaciones entre la diversidad y las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Variables	Riqueza	Abundancia absoluta	Simpson	Shannon-Wiener	CM
pH	0,7397	0,7467	0,6222	0,7192	0,4578
Materia Orgánica	-0,3129	-0,2512	-0,7454	-0,6785	-0,2341
Carbono	-0,3109	-0,2480	-0,7429	-0,6761	-0,2344
Nitrógeno	-0,3237	-0,2578	-0,7460	-0,6827	-0,2461
Aluminio	0,4180	0,7079	0,3084	0,3505	-0,0527
Fósforo	-0,3086	-0,1903	-0,6693	-0,6275	-0,3028
Potasio	-0,6079	-0,6502	-0,6432	-0,6798	-0,3177
Calcio	0,6660	0,3635	-0,1969	0,1225	0,8318
Magnesio	0,5425	0,3551	0,1408	0,3496	0,6197
Sodio	0,0665	-0,2339	-0,2003	-0,1208	0,3738
Hierro	0,2466	0,3398	0,6280	0,5278	-0,0027
Manganeso	-0,5838	-0,6340	-0,3467	-0,4480	-0,3155
Cobre	-0,5594	-0,6435	-0,6076	-0,6303	-0,2378
Zinc	-0,6439	-0,7691	-0,6635	-0,7033	-0,2527
Azufre	0,4331	0,5486	-0,0719	0,0919	0,1880
Boro	0,1559	0,1672	-0,4366	-0,2811	0,1246
Arena	-0,8559	-0,9941	-0,7022	-0,8309	-0,4125
Limo	0,7602	0,7256	0,7947	0,8653	0,5109
Arcilla	0,2883	0,5018	0,0549	0,1446	-0,0146

Nota: Se toman como correlaciones los valores desde 0.5 hasta 1 y correlaciones inversas para los valores desde -0.5 hasta -1.

4.7.1 Correlaciones entre la estructura y las propiedades físico químicas del suelo.

La Densidad presentó correlaciones altas con las variables: pH, Aluminio, Azufre, Limo y Arcilla, el Área Basal del Diámetro a la Altura del Cuello (AB DAC) presentó altas correlaciones con la variable Sodio y con el Hierro. Adicionalmente, el Área Basal del Diámetro a la altura del pecho (AB DAP) presentó altas correlaciones con el Hierro y el Limo, de igual manera la Altura presentó correlaciones altas con el Sodio ya que a mayores presencias de sodio en el suelo se presentan menores altura, de igual manera las presento con el Hierro y Limo, ya que son elementos que permiten el desarrollo de la planta, el Hierro para la parte de estructura y el Limo para la profundización de la planta.

Tabla 7.

Correlaciones entre la estructura y las propiedades físico químicas del suelo.

Variabes	Altura	AB DAP	AB DAC	Densidad
pH	0,3942	0,3676	0,3585	0,7467
Materia Orgánica	-0,7748	-0,7131	-0,1290	-0,2512
Carbono	-0,7756	-0,7112	-0,1292	-0,2480
Nitrógeno	-0,7862	-0,7106	-0,1480	-0,2578
Aluminio	-0,5302	0,1062	-0,2099	0,7079
Fosforo	-0,7873	-0,6161	-0,1101	-0,1903
Potasio	-0,4855	-0,4958	-0,4699	-0,6502
Calcio	0,0028	-0,6337	0,1225	0,3635
Magnesio	-0,2057	-0,3195	-0,7427	0,3551
Sodio	0,7381	-0,1273	0,9199	-0,2339
Hierro	0,6708	0,7291	0,6360	0,3398
Manganeso	-0,1445	-0,1492	-0,4095	-0,6340
Cobre	-0,4016	-0,4864	-0,4674	-0,6435
Zinc	-0,2521	-0,4725	-0,2925	-0,7691
Azufre	-0,6428	-0,3739	-0,2321	0,5486
Boro	-0,5056	-0,5816	0,1239	0,1672
Arena	0,2051	-0,2557	0,4153	-0,9941
Limo	0,5964	0,5389	0,2785	0,7256
Arcilla	-0,8959	-0,2450	-0,8274	0,5018

Nota: Se toman como correlaciones los valores desde 0.5 hasta 1 y correlaciones inversas para los valores desde -0.5 hasta -1.

4.8 Análisis de pH para las muestras obtenidas con brinzales.

Ya que la variable pH, se destacó como una de las más representativas para la diversidad y estructura de los brinzales (Tabla 8), por ende, se le calculo a todas las subparcelas, determinando que el pH, promedio del suelo del bosque robledal fue de 3,72 (\pm 0,28), por tanto, encontramos que son suelos ácidos.

Tabla 8.

Análisis de pH de las 15 subparcelas con brinzales.

Subparcela	Riqueza	Abundancia absoluta	Simpson	Shannon-Wiener	CM	Ph
P1S-B	5	33	0,56	1,12	0,15	4,1
P1S-D	7	14	0,79	1,73	0,5	4,1
P1S-H	8	23	0,8	1,81	0,35	4,2
P2S-B	4	16	0,54	0,99	0,25	3,99
P2S-D	5	13	0,58	1,18	0,38	3,8
P2S-H	4	9	0,67	1,21	0,44	3,8
P3S-B	6	20	0,49	1,08	0,3	3,66
P3S-D	5	30	0,73	1,41	0,17	3,6
P3S-H	6	34	0,65	1,38	0,18	3,7
P4S-B	5	6	0,78	1,56	0,83	3,6
P4S-D	3	6	0,61	1,01	0,5	3,6
P4S-H	4	19	0,74	1,37	0,21	3,59
P5S-B	4	22	0,61	1,09	0,18	3,5
P5S-D	3	11	0,43	0,76	0,27	3,21
P5S-H	4	5	0,72	1,33	0,8	3,4
Promedio	-	-	-	-	-	3,72 (\pm 0,28)

4.9 Regresiones lineales de las variables.

No se lograron ajustar modelos de regresiones lineales en la presente investigación ($P > 0,05$) (Tabla 9).

Tabla 9.
Regresiones lineales.

Variable dependiente	Variable Independiente	R ²	P value	Intercepción	Rendimiento
Riqueza	pH	0,40	3,63	-9,45	3,87
	Calcio	0,26	2,39	-2,97	7,03
	Arena	0,64	8,22	21,53	-0,31
	Limo	0,44	4,11	-7,81	0,33
Abundancia Absoluta	pH	0,41	3,78	-15,38	8,90
	Aluminio	0,33	3,01	9,08	1,31
	Zinc	0,46	4,34	23,33	-6,26
	Arena	0,98	250,34	61,48	-0,81
	Limo	0,37	3,34	-10,02	0,72
	MO	0,41	3,75	1,26	-0,09
	Carbono	0,40	3,70	1,26	-0,15
Simpson	Nitrógeno	0,41	3,77	1,25	-1,73
	Fosforo	0,26	2,43	0,80	-0,02
	Zinc	0,25	2,36	0,77	-0,19
	Arena	0,32	2,92	1,69	-0,02
	Limo	0,51	5,14	-0,48	0,03
	pH	0,36	3,21	-1,64	0,76
	MO	0,28	2,56	2,70	-0,20
Shannon	Carbono	0,28	2,53	2,70	-0,35
	Nitrógeno	0,29	2,62	2,69	-3,97
	Potasio	0,28	2,58	3,45	-7,43
	Zn	0,33	2,94	1,65	-0,51
	Arena	0,59	6,69	4,45	-0,06
	Limo	0,66	8,94	-1,75	0,08
	Calcio	0,59	6,74	0,02	0,23
CM	MO	0,47	4,51	1,80	-0,12
	Carbono	0,47	4,53	1,80	-0,21
	Nitrógeno	0,49	4,86	1,80	-2,44
	Fosforo	0,49	4,89	1,21	-0,03
Altura	Sodio	0,39	3,59	-0,09	2,12
	Hierro	0,27	2,45	0,50	0,001
	Arcilla	0,74	12,20	1,23	-0,04
	MO	0,34	3,10	0,0005	-0,00004
	Carbono	0,34	3,07	0,0005	-0,00007
	Nitrógeno	0,34	3,06	0,0005	-0,00085
	Hierro	0,38	3,41	0,0000	0,0000003
	Magnesio	0,40	3,69	0,0004	-0,00093
	Sodio	0,79	16,51	-0,0001	0,00032
	Arcilla	0,58	6,51	0,0001	-0,000005
ABDAP	pH	0,41	3,78	-6153,02	3558,45
	Aluminio	0,33	3,01	3631,68	522,20
	Zinc	0,46	4,34	9332,90	-2503,28
	Arena	0,98	250,34	24592,21	-325,97
	Limo	0,37	3,34	-4007,55	286,79

5 Discusión

Autores afirman que es necesario conocer un bosque para protegerlo y conservarlo, por tanto, nuestro estudio genera información útil sobre las propiedades fisicoquímicas presentes en el suelo y la relación que este tiene con la diversidad y estructura de los brinzales, todo esto como línea base para mejorar los mecanismos y estrategias de conservación del bosque.

En la presente investigación se determinó que la estructura y diversidad de los brinzales está relacionada significativamente con el pH del suelo. Por tanto, los suelos formados bajo condiciones de abundantes precipitaciones presentan un pH bajo, esto como resultado de la lixiviación de las bases y la capacidad de intercambio catiónico debido a la cantidad de materia orgánica presente en el suelo; todo esto corroborado por múltiples autores científicos mencionados anteriormente en la revisión de literatura.

En la presente investigación se logró determinar que la hojarasca de especies arbóreas latifoliadas como el *Quercus humboldtii*, no representan una amenaza para el desarrollo y crecimiento de las especies del brinzal; por medio de la investigación realizada por Carvelier & Tobler (1998) sobre las nulas alteraciones que tienen los suelos con la diversidad y estructura de los bosques, se ratifican los resultados encontrados en la presente investigación, en donde de igual manera se logró determinar que los suelos del robledal no tienen incidencia alguna para la diversidad y estructura de dicho bosque, además Carvelier y Tobler (1998) demostraron que las especies de coníferas por medio de la acumulación de acículas en los suelos imposibilitaba el desarrollo de las especies en asociación vegetal con las coníferas y presentes en los brinzales.

Los resultados de la presente investigación, se asemejan a los encontrados por Carvelier y Santos (1999), relacionado con el hecho de que no se encontró un cambio de las propiedades físico químicas, por parte de los suelos con y sin vegetación, puesto que se demostró por medio de

pruebas de pH, en los suelos del bosque (robleal) perteneciente al municipio de Molagavita (Vera El Llano), en donde se evidencian resultados semejante a los arrojados por los potreros colindantes con la frontera arbórea del bosque.

La investigación relacionada por Lima (1987), apoya los resultados encontrados en la presente investigación, ya que por medio de correlaciones se logró determinar que los factores de diversidad y estructura del bosque, no se ven alterados por los factores físico químicos presentes en los suelos del bosque, ya que los suelos sin masas boscosas aledaños al bosque (pastizales) y dentro del bosque (claros) presentaron las mismas propiedades físico químicas, pero en dichos lugares la diversidad o la estructura de las especies forestales es nula, puesto que solo se encuentran pastizales u hojarasca.

Madriñan y Schultes (1995) afirman que la hojarasca no altera el crecimiento de los brinzales, algo que se ratificó en los resultados de la presente investigación, puesto que, a pesar de encontrar hojarasca, la diversidad y estructura del bosque no se encontraba en estado de alteración; además se ratifica la hipótesis encontrada por parte de Madriñan y Schultes (1995), ya que se puede dar en algún momento de acumulación y descomposición de la hojarasca, que la misma altere la capa orgánica del suelo aumentando los pH o disminuyéndolo, generando de esta manera un cambio considerable en el hábitat de desarrollo de las especies nativas; por consiguiente las propiedades físico químicas del suelo no son las que alteran la diversidad del bosque, si no que dicha alteración es producto de la descomposición de toda la materia orgánica presente en los bosques naturales.

La presente investigación contradice en parte lo postulado por Lugo (1992), referente a la alteración que puede llegar a producir la densidad de las especies por metro cuadrado, puesto que en el bosque (robleal) más precisamente en una sub parcela, se encontraron altas densidades de especies por metro cuadrado y sombrío por parte de los fustales, pero a pesar de ello los brinzales,

no presentaron pocos individuos o especies; por otra parte la presente investigación por medio de los resultados obtenidos ratifica que las propiedades físico químicas o como el autor los denomina tipo de suelo y componentes mineralógicos, no generan alteraciones directas con la diversidad y estructura del bosque.

Lo postulado por Hofede (1997) soporta los resultados obtenidos en la presente investigación, puesto que los suelos del bosque (robleal) y aledaños al mismo no presentaron alteraciones en las propiedades físico químicas, por ende, al evidenciar que los suelos sin especies forestales contaban con las mismas características que los suelos con especies forestales, se afirma que el suelo no genera alteraciones directas con la diversidad y estructura del bosque, ya que al tener los niveles de pH, cuentan con la misma capacidad de generar diversidad y estructura, pero por algún factor externo al objetivo de la presente investigación, las especies forestales no llegan a habitar los suelos aledaños al bosque (robleal).

León (1997) encontró que los suelos con diferentes tipos de especies forestales (Coníferas y Latifoliadas), no presentaban diferencia alguna en las propiedades físico químicas, cabe aclarar que dichos suelos pertenecían a la misma zona, pero que la descomposición de la hojarasca propia de cada especie si tenía repercusión en el cambio, debido a esto se ratifican los resultados de la presente investigación ya que el suelo del bosque (robleal) y el suelo sin especies vegetales, no presento alguna diferenciación en los niveles de pH, además cabe resaltar que la hojarasca del bosque (robleal) no represento alteración alguna para los brinzales del mismo, ya que según los inventarios realizados se pudieron evidenciar diversidades y estructuras idóneas para el tipo de bosque.

La presente investigación ratifica lo postulado por Aguirre et al. (2008), respecto a que el análisis de los brinzales con las múltiples variables que el autor menciona e implementadas en la

presente investigación, llegan a concluir el estado de la diversidad y estructura del bosque; otro grupo de investigadores como Jiménez (2001), ratifican que para analizar las alteraciones en la diversidad y estructura del bosque se deben de evaluar variables como la abundancia y la dominancia, pero se debe refutar la hipótesis planteada por dichos investigadores, respecto a que los suelos llegan a generar alteraciones en la diversidad y estructura de los bosques, ya que con los resultados obtenidos en la presente investigación se llega a dicha conclusión.

6 Conclusiones

Las propiedades fisicoquímicas presentaron bajas relaciones con la diversidad del bosque del robleal, ya que los análisis realizados en las múltiples muestras de suelos, tanto externos (aledaños) como internos al bosque, no presentaron diferencias, por consiguiente se puede inferir que el suelo tiene alguna incidencia en los brinzales y en la diversidad de los mismos, además se estipula que las variables como pH, representan correlación con la riqueza, abundancia absoluta, los índices de Simpson y Shannon-Wiener.

La estructura del bosque presentó correlación con algunas variables como el Aluminio, el Azufre y el Hierro, determinando de esta manera que el desarrollo de las propiedades como la altura, el diámetro y la densidad, va ligado con la cantidad de nutrientes en el suelo o la disposición de los mismos, por ser importantes en las fases de crecimiento y sostenimientos de las especies forestales evaluadas; adicionalmente el sodio presento significancia para la estructura del bosque, puesto que a niveles elevados de sodio en el suelo se imposibilita la adsorción de algunos nutrientes, además de la intoxicación que le genera a las plantas en elevadas concentraciones; además que en la presente investigación los niveles de sodio encontrados en los suelos del robleal de la vereda el Llano fueron bajos.

7 Recomendaciones

Se recomienda que se continúe con la investigación de otros factores diferentes al suelo que puedan tener alteraciones con la diversidad y la estructura del bosque, como la incidencia que tienen algunas especies en los cambios químicos del suelo por medio de la descomposición de su hojarasca.

Se sugiere que se realicen investigaciones en zonas de vida diferentes y contrastantes, como las presentes en el municipio de Capitanejo, Santander, con la finalidad de realizar una comparación entre los diferentes suelos y las coberturas vegetales presentes en ellos, para analizar si al tener un cambio drástico del suelo se generan variaciones en las diversidades o estructuras de los bosques a comparar.

Se recomienda que para futuras investigaciones se realicen análisis a profundidad con la sinergia que se presenta no solo en las plantas, sino también en los suelos, ya que en la presente investigación se limitó dicho análisis por factores económicos y del Covid-19.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, O., Corral, J. J., Vargas, B., y Jiménez, J. (2008). Evaluación de modelos de diversidad-abundancia del estrato arbóreo en un bosque de niebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31 (3), 281-289.
- Anjos, J. T., Uberti, A. A. A., Vizzotto, V. J., Leite, G. B., & Krieger, M. (1994). Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo; [Propiedades físicas del suelo en condiciones diferentes de cultivo y manejo]. [Soil physical properties under several cropping-management systems]. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Brasil)*. Jan.-Abr., 18(1), 139-145.
- Avella Muñoz, A., & Cardenas Camacho, L. M. (2010). CONSERVACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS BOSQUES DE ROBLE EN EL CORREDOR DE CONSERVACIÓN GUANTIVA – LA RUSIA – IGUAQUE, DEPARTAMENTOS DE SANTANDER Y BOYACÁ, COLOMBIA. Obtenido de scielo.org.co: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v13n1/v13n1a02.pdf>.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21 (1), 136-147. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/16374396.pdf>
- Bogota, D.C, Congreso de Colombia Decreto 2811 18 de diciembre de 1974, Diario Oficial No. 34.243 (1974).
- Bogota, D.C, Congreso de Colombia Ley 99 22 de diciembre de 1993., Diario Oficial No. 41.146, (1993).
- Bogota, D.C, Congreso de Colombia Ley 165 09 de noviembre de 1994, Diario Oficial No. 41.589 (1994).
- Bogota, D.C, Congreso de Colombia Ley 900 21 de julio de 2004. Diario Oficial No. 44.678 (2004).
- Brown, A.D. & M. Kappelle. (2001). Introducción a los bosques nublados del geotrópico: una síntesis regional, p. 25-40. In M. Kappelle & A.D. Brown (eds.). *Bosques nublados del geotrópico*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO). Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- Calle Rendón, B. R., Moreno, F., & Cárdenas López, D. (19 de Enero de 2011). Relación entre suelos y estructura del bosque. Obtenido de scielo.sa.cr: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442011000300031.

- Cavelier, J., & Santos, C. (1999). Efectos de plantaciones abandonadas de especies exóticas y nativas sobre la regeneración natural de un bosque montano en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 47(4), 775-784.
- Cavelier, J & A. Tobler. (1998). The effect of abandoned plantations of *Pinus radiata* and *Cupressus lusitanica* on soils and regeneration of a tropical montane rain forest in Colombia. *Biodiversity Conserv.* 7: 335-347
- Cayuela, L. (2012). Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas*, 15 (3),192-198. Recuperado de <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/155.pdf>.
- Churchill, H. Balslev, E. Forero & J. Luteyn (1995.). *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. The New York Botanical Garden, Bronx. New York, EEUU.
- Flórez, A., Umaña, J. (2006). Evaluación de la adaptación, comportamiento y efecto en la pradera de la acacia negra (*acacia decurrens*), de la acacia japonesa (*acacia melanoxylon*), y del aliso (*alnus acuminata*), como cerca viva en un sistema de producción de ganado de leche en el trópico alto colombiano. (Tesis de pregrado) Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
- Gonzalez Melo, A., & Parrado Rosselli, A. (9 de septiembre de 2009). DIFERENCIAS EN LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS DEL ROBLE *QUERCUS HUMBOLDTII* BONPL. EN DOS BOSQUES ANDINOS DE LA CORDILLERA ORIENTAL COLOMBIANA. Obtenido de [scielo.org.co](http://www.scielo.org.co): <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v13n1/v13n1a07.pdf>.
- Hofstede, R. 1997. El impacto ambiental de plantaciones de *Pinus* en la Sierra del Ecuador. Proyecto Ecopar, Quito. 53 p.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida* (No. 83). Agroamérica.
- Hupet, F., & Vanclooster, M. (2002). Intraseasonal dynamics of soil moisture variability within a small agricultural maize cropped field. *Journal of Hydrology*, 261(1-4), 86-101.
- Jiménez, J., Aguirre, O. y Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 10 (2), 355-366. doi:10.5424/729.
- Leiva, J., Rocha, O., Mata, R., & Gutierrez, M. (10 de Febrero de 2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. Obtenido de [scielo.sa.cr](http://www.scielo.sa.cr): https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442009000300029.
- León, J.D. & E. Giraldo. 2000. Crecimiento diamétrico en robledales del norte y centro de Antioquia, Colombia. *Cron. For. Amb.* 15: 121-138.

- León, T. 1997. Efectos sobre el suelo de plantaciones comerciales de *Pinus patula* y *E. grandis* en crecimiento. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, CONIF, Bogotá, Colombia. 51 p.
- Lima, W. de P. 1987. O reflorestamento com Eucalipto e seus impactos ambientais. Artpress, São Paulo. 114 p.
- Louman, B., Valerio, J., & Jiménez, W. (2001). Bases ecológicas. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico, (46), 19-78.
- Lugo, A. E. 1992. Comparison of tropical tree plantations with secondary forest of similar age. Ecol. Monogr. 62: 1-41.
- Madríñan, S. & R. E. Schultes. 1995. Colombianos national tree: the wax palm *Ceroxylon quindiuense* and its relatives. *Elais* 7: 35-56.
- Marañón, T. (2016). Interacciones árbol-suelo y provisión de servicios ecosistémicos en el Corredor Verde del Guadamar. Obtenido de digital.csic.es: <https://digital.csic.es/handle/10261/131845>.
- Mataix Solera, J. (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Obtenido de <http://rua.ua.es>: <http://hdl.handle.net/10045/9988>.
- Muñoz, F. (2009). Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. *Carta Trimestral*, 31(3), 1-4. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_4/mod_virtuales/modulo2/5.pdf
- Quinto Mosquera, H., & Moreno Hurtado, F. (2014). Diversidad florística arbórea y su relación con el suelo en un boque pluvial tropical del Chocó biogeográfico. Obtenido de scielo.br: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622014000600017.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay.
- Salinas, N., & Cárdenas, D. (2007). Roble: *Quercus humboldtti*. Libro rojo de plantas de Colombia, 4, 23-29.
- Samboní Guerrero, N. V., & Cabrera Pantoja, M. J. (2017). RELACIÓN ENTRE LA DIVERSIDAD VEGETAL Y LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO. Obtenido de bibliotecavirtual.uis.edu.co: <http://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2158/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=fda79126-6779-4c41-bfcd-df5f40b07712%40sdc-v-sessmgr02>.

Vargas, O., Diaz Triana, J., Reyes Bejarano, S., & Gomez Ruiz, P. (2012). GUÍAS TÉCNICAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA. Obtenido de [minambiente.gov.co:https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/plan_nacional_restauracion/Anexo_8_Guias_Tecnicas_Restauracion_Ecologica_2.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/plan_nacional_restauracion/Anexo_8_Guias_Tecnicas_Restauracion_Ecologica_2.pdf).

Villareal, H., et al (2004). Manual de metodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Recuperado de: https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/pdf/villareal_et_al_2004.pdf.

Apéndices

Apéndice 1. Identificación de cuadrantes.



Apéndice 2. Delimitación de sub parcelas.



Apéndice 3. Anclaje de tubos de pvc en sub parcelas.



Apéndice 4. Anclaje de tubos de pvc en sub parcelas.



Apéndice 5. Delimitación de sub parcelas.



Apéndice 6. Establecimiento de los vértices de las sub parcelas.



Apéndice 7. Identificación de sub parcelas.



Apéndice 8. Uniones de los vértices de las sub parcelas.



Apéndice 9. Plaqueta de identificación de sub parcela.



Apéndice 10. Sub parcela 5.



Apéndice 11. Sub parcela 2.



Apéndice 12. Medición de DAP.



Apéndice 13. Marcaje de especies.



Apéndice 14. Limpieza de la hojarasca.



Apéndice 15. Extracción de muestras de suelo sub parcela 3.



Apéndice 16. Toma de muestras de suelo sub parcela 1.



Apéndice 17. Ahoyado para la muestra de suelo.



Apéndice 18. Muestra de suelo.



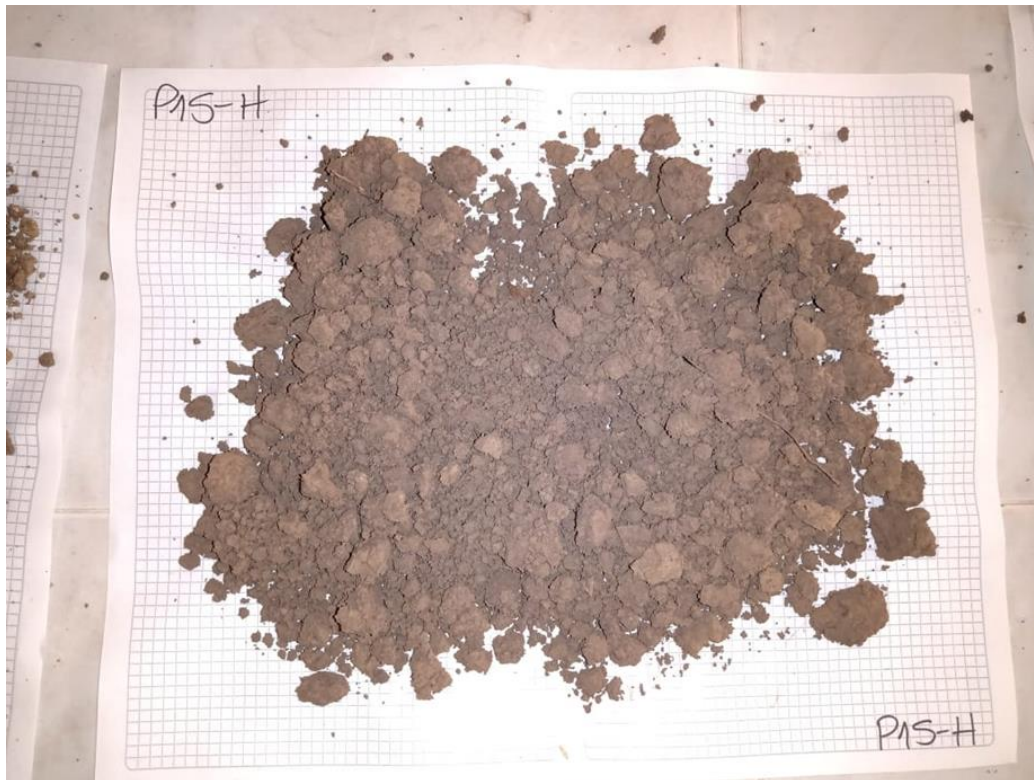
Apéndice 19. Pesaje de las muestras de suelo sub parcela 5.



Apéndice 20. Pesaje de las muestras de suelo sub parcela 3.



Apéndice 21. Muestra de suelo sub parcela 1.



Apéndice 22. Muestra de suelo sub parcela 2.



Apéndice 23. Muestra de suelo sub parcela 3.



Apéndice 24. Muestra de suelo sub parcela 4.



Apéndice 25. Muestra de suelo sub parcela 5.



Apéndice 26. Medición del pH.



Apéndice 27. Muestra de suelo en el claro 1 del bosque.



Apéndice 28. Muestra de suelo en el claro 2 del bosque.

