

Evaluar la respuesta a la inoculación de Endomicorrizas Arbusculares sobre las especies *Acacia melanoxylon* R. Br. y *Cedrela montana* Moritz ex Turcz.

Angela Dulfary Jaime Sepúlveda y Diego Armando Castellanos Ramírez

Proyecto de Grado para Optar el título de Ingeniero Forestal

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

PhD en Cs Agrarias

Universidad Industrial de Santander

Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

A nuestros padres, hermanos y familiares por siempre creer en nosotros y brindarnos el apoyo necesario para no decaer.

Agradecimientos

Nuestros más sinceros agradecimientos al profesor Andrés Rodríguez Toro, Herwin Roa, Rubén Caballero y a la profesora Sandra Díaz quienes colocaron a nuestra disposición todo su conocimiento.

A nuestros padres y familiares quienes nos ayudaron económica y moralmente. A los trabajadores de la vereda Ramada que gracias a su colaboración el proyecto pudo realizarse.

A la Universidad Industrial de Santander (UIS), en especial a la sede ubicada en el municipio de Málaga.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	17
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Marco Referencial	20
2.1 Marco Teórico.....	20
2.1.1 Micorrizas	20
2.1.2 Tipo de micorrizas de acuerdo con el grado de penetración de las hifas.....	20
2.1.2.1 Ectomicorrizas.	20
2.1.2.2 Endomicorrizas.	20
2.1.2.3 Ectendomicorrizas.....	20
2.1.3 Etapas de la simbiosis entre el material fúngico (MA) y el simbiote vegetal.....	20
2.1.3.1 Pre-infección.	21
2.1.3.2. Infección primaria.....	21
2.1.3.3 Formación de arbusculos y vesículas.....	21
2.1.3.4 Extensión del hongo en las raíces y en la rizósfera.	21
2.1.3.5. Propagación del hongo a través del suelo	22
2.1.3.6 Formación de estructuras reproductivas.	22
2.1.4 <i>Acacia melanoxylon</i> (Acacia Japonesa).....	22

2.1.4.1 Condiciones aproximadas de adaptación.....	22
2.1.4.2 Descripción de árbol.....	22
2.1.4.3 Manejo de la semilla.....	23
2.1.4.4 Producción en vivero.....	23
2.1.4.5 Plantación y manejo silvicultural.....	23
2.1.4.6 Plagas y enfermedades.....	24
2.1.4.7 Características de la madera.....	24
2.1.4.8 Usos no máderables.....	24
2.1.4.9 Usos máderables.....	24
2.1.4.10 Características macroscópicas de la madera.....	25
2.1.4.11 Características microscópicas.....	25
2.1.5 <i>Cedrela montana</i> (Cedro de altura).....	25
2.1.5.1 Condiciones aproximadas de adaptación.....	25
2.1.5.2 Descripción de árbol.....	26
2.1.5.3 Manejo de la semilla.....	26
2.1.5.4 Producción en vivero.....	26
2.1.5.5 Plantación y manejo silvicultural.....	27
2.1.5.6 Influencia de plagas y enfermedades.....	27
2.1.5.7 Características de la madera.....	27
2.1.5.8 Usos principales.....	27
2.2 Marco Legal.....	27
2.2.1 Normativa legal vigente.....	27
2.2.1.1 Decreto 2811 de 1974.....	27

2.2.1.2 Ley 99 de 1993.....	27
2.2.1.3 Ley 101 de 1993.....	28
2.2.1.4 Ley 139 de 1994.....	28
2.2.1.5 Decreto 1824 de 1994.....	28
2.2.1.6 Decreto 1791 de 1996.....	28
2.2.1.7 Decreto 1498 de 2008.....	28
2.2.1.8 Decreto 4145 de 2011.....	28
2.2.1.9 Decreto 2448 de 2012.....	28
2.2.1.10 Decreto 4600 de 2011.....	28
2.2.1.11 Decreto 1076 de 2015.....	28
2.2.1.12 Decreto 1076 de 2015.....	28
2.2.1.13 Resolución número 000411 de 2018.....	28
2.2.1.14 Ley 1731 de 2014.....	29
2.2.1.15 Proyecto de Ley 171 de 2016.....	29
2.2.1.16 Decreto 2398 de 2019.....	29
2.2.1.17 Resolución número 000411 de 2018.....	29
2.3 Marco Conceptual.....	29
2.3.1 Conceptos generales.....	29
2.3.1.1 FUNGIFERT.....	29
2.3.1.1.1 Descripción del producto.....	29
2.3.1.1.2 Dosificación y forma de aplicación en viveros forestales.....	30
2.3.1.1.3 Almacenamiento del producto.....	30
2.3.1.2 Safer micorrizas M.A.....	30

2.3.1.2.1 Descripción y mecanismo de acción del producto.....	30
2.3.1.2.2 Dosificación y forma de aplicación en viveros forestales.	31
2.3.1.2.3 Almacenamiento del producto.	31
2.3.1.3 Turba Orange.	31
2.3.1.3.1 Características de la turba.	31
2.3.1.4 Cerco vivo.....	31
3. Procesos Metodológicos	32
3.1 Localización y extensión del predio.	32
3.2 Zona de vida en El Mirador	33
3.3 Fases del proyecto.....	33
3.3.1 Vivero	33
3.3.1.1 Vivero transitorio.....	33
3.3.1.2 Germinación.....	33
3.3.1.3 Porcentaje de germinación.....	33
3.3.1.4 Trasplante.....	33
3.3.1.5 Porcentaje de Supervivencia.	34
3.3.1.6 Diseño Experimental Bloques Completamente al Azar.....	34
3.3.1.7 Medición de variables.	35
3.3.1.7.1 Variable Altura total.	35
3.3.1.7.2 Variable Diámetro a la base del tallo.	35
3.3.2 Plantación.....	35
3.3.2.1 Establecimiento de la plantación en forma de cerco vivo sencillo.	35

3.3.2.1.1	Diseño Experimental de Bloques Completamente al Azar.....	35
3.3.2.1.2	Establecimiento del material vegetal en forma de cerco vivo sencillo.....	35
3.3.2.1.3	Resiembra.	36
3.3.2.1.4	Porcentaje de Supervivencia en plantación.....	36
3.3.2.1.5	Medición de variables en campo.....	37
3.3.2.1.6	Variable Altura total.	37
3.3.2.1.7	Variable Diámetro a la base del tallo.....	37
3.3.3	Laboratorio.....	37
3.3.3.1	Muestreo de Suelo.....	37
3.3.3.2	Muestreo de tejido vegetal.....	37
3.3.3.3	Metodología para hallar el porcentaje de inoculación.	37
3.3.3.4	Diseño experimental.	38
4.	Resultados y Discusión.....	39
4.1	En vivero.....	39
4.1.1	Porcentaje de germinación.....	39
4.1.2	Porcentaje de supervivencia.....	39
4.1.3	Altura total y diámetro a la base del tallo en <i>Cedrela montana</i>	39
4.1.4	Altura total y diámetro a la base del tallo en <i>Acacia melanoxylon</i>	40
4.2	En Plantación.....	41
4.2.1	Porcentaje de supervivencia.....	41
4.2.2	Altura total y diámetro a la base del tallo en <i>Cedrela montana</i>	42
4.2.3	Altura total y diámetro a la base del tallo en <i>Acacia melanoxylon</i>	43

4.3 Porcentaje de inoculación	45
5. Conclusiones	46
6. Recomendaciones.....	47
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices.....	52

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización de la finca El Mirador.....	32
Figura 2. Bloques Completamente al Azar.....	34
Figura 3. Instalación del material forestal en sitio definitivo.....	36
Figura 4. Altura total y diámetro a la base del tallo en Cedrela montana.....	40
Figura 5. Altura y Diámetro a la base del tallo en Acacia melanoxylon.....	41
Figura 6. Porcentaje de supervivencia del establecimiento forestal.....	42
Figura 7. Altura total y diámetro a la base del tallo en Cedrela montana.....	43
Figura 8. Altura total y diámetro a la base del tallo en Acacia melanoxylon.....	44

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Vivero transitorio.....	52
Apéndice B. Era de germinación.....	53
Apéndice C. Era de crecimiento.....	54
Apéndice D. Altura.....	55
Apéndice E. Diámetro.....	56
Apéndice F. Establecimiento cerco vivo.....	57
Apéndice G. Sistema radicular en H ₂ O ₂	58
Apéndice H. Sistema radicular en KOH y HCl.....	59
Apéndice I. Montaje del sistema radicular.....	59
Apéndice J. Observación de cuerpos fúngicos.....	59
Apéndice K. Plantación cerco vivo.....	60
Apéndice L. Desarrollo radicular en SM.....	61
Apéndice M. Desarrollo radicular en ML.....	62
Apéndice N. Desarrollo radicular en MS.....	63
Apéndice O. Laboratorio del suelo usado en el proceso de trasplante de las plántulas.....	64

Glosario

Angiosperma: grupo de plantas que poseen flores y frutos bien definidos, son vasculares y con semilla (Araujo Abanto, 2010).

Bryophyta: grupo vegetal que carece de vasos vasculares, un ejemplo muy típico son los musgos y se reproducen por esporas.

Especie forestal: todo material vegetal de estructura leñosa, fibrosa básica, que proporciona madera y puebla la tierra con ayuda y/o antrópica, para suplir necesidades fundamentales del hombre y de algunas especies animales (Cháves, 2018)

Especie introducida: especie presente en un área externa a la zona en que históricamente se conoce su presencia debido a la dispersión intencionada o accidental por actividades humanas.

Especie nativa: especie, subespecie o taxón inferior presente dentro de su zona natural con posibilidad de dispersión dentro de la zona que ocupa naturalmente o que podría ocupar sin la introducción directa o indirecta o la acción de los seres humanos (Duggo, 2019).

Gymnosperma: en este grupo de vegetales las semillas no están recubiertas por el fruto, tienen flores incompletas (sin cáliz ni corola), forman inflorescencias leñosas, con forma de esfera o más frecuentemente de cono, se les conoce como coníferas (Araujo Abanto, 2010).

Inoculación: significa injertar o introducir un ser vivo dentro de otro para brindarle mejores condiciones de vida a uno u otro y en algunas ocasiones ambos se benefician mutuamente.

Material fúngico: conjunto de organismos perteneciente a los seres vivos denominados hongos (Nazareno et al., 2020).

Material vegetal forestal: conjunto de organismos pertenecientes a los seres vivos denominados vegetales, pero de carácter arbóreo.

Micorriza arbuscular (MA): es la asociación simbiótica más común entre la materia vegetal y el material fúngico, las MA se encuentran en la mayoría de los hábitats naturales y brindan una gama de servicios ecológicos importantes, en particular al mejorar la nutrición de las plantas, la resistencia y tolerancia al estrés, la estructura del suelo y la fertilidad (Chen et al., 2018).

Micorriza líquida: se refiere a un inóculo presentado de manera hidrosoluble para su comercialización.

Micorriza sólida: se refiere a un inóculo presentado comercialmente como un sustrato sólido.

Phylum Glomeromycota: clasificación propuesta para los hongos micorrícicos arbusculares basada en el análisis consenso de tres regiones ribosomales (Nazareno et al., 2020).

Plantación forestal: son coberturas constituidas por el establecimiento de vegetación arbórea, obtenidas de manera artificial gracias a la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras) (Ideam, 2010).

Plántula: se denomina plántula a la planta en sus primeros estados de desarrollo, desde que germina hasta que se desarrollan las primeras hojas verdaderas (Trujillo, 2019).

Pteridophyta: grupo vegetal que se reproduce por esporas, un ejemplo son los helechos (Albán Camacho, 2020).

Simbionte fúngico obligado: hace referencia a un ser vivo hongo que se encuentra en una relación obligatoria con un vegetal para poder subsistir (Nazareno et al., 2020).

Simbionte vegetal facultativo: hace referencia a un ser vivo de carácter vegetal que se encuentra en una relación no obligada con un simbionte fúngico (Nazareno et al., 2020).

Vivero forestal transitorio: son aquellos, cuyo objeto es la producción y abastecimiento de plántulas para proyectos de establecimientos forestales definidos, en sitios donde el acceso sea difícil, o los viveros permanentes se encuentren muy retirados (Trujillo, 2019).

Resumen

Título: Evaluar la respuesta a la inoculación de Endomicorrizas Arbusculares sobre las especies *Acacia melanoxylon* R. Br. y *Cedrela montana* Moritz ex Turcz.

Autor: A. Dulfary Jaime S y Diego A. Castellanos R.

Palabras Clave: Micorrizas, vivero, plantación, Material vegetal forestal, cerco vivo sencillo.

Descripción:

El uso de micorrizas arbusculares (MA) es una alternativa que optimiza la calidad del material vegetal para establecer en sitio definitivo. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar en vivero y plantación el efecto de la Biofertilización de dos tipos de micorriza comercial (sólida e hidrosoluble) en 2 especies forestales *Acacia melanoxylon* y *Cedrela montana*. La disposición del material vegetal en el vivero transitorio cumplió con un diseño de bloques completamente al azar balanceado, con 12 grados de libertad, tres tratamientos (sin micorriza SM, micorriza líquida ML y micorriza sólida MS), siete bloques, 21 réplicas y 25 unidades experimentales en cada réplica. En plantación se instaló un diseño experimental de bloques completamente al azar desbalanceado, definiendo tres sitios al interior del predio e instalando tres segmentos de recta por cada uno, en los cuales se sembró el material vegetal correspondiente con cada uno de los tratamientos, Se evaluaron dos variables respuesta, altura total de la plántula y diámetro a la base del tallo tanto en vivero como en plantación. El material vegetal forestal que presento mayor calidad tanto en vivero como en el establecimiento final de las plántulas fue para los tratamientos ML y MS sin presentar diferencia significativa entre ellos.

* Trabajo de grado

** Instituto de proyección regional y a distancia IPRED, programa de ingeniería forestal.

Director: Julián Mauricio Botero Londoño PhD en Cs Agrarias.

Abstract

Title: To evaluate the response to the inoculation of Arbuscular Endomycorrhizals on the species *Acacia melanoxylon* R. Br. and *Cedrela montana* Moritz ex Turcz.

Author: A. Dulfary Jaime S and Diego A. Castellanos R.

Keywords: Mycorrhiza, nursery, plantation, Forest plant material, simple living enclosure.

Description:

The use of arbuscular mycorrhizae (AM) is an alternative that optimizes the quality of the plant material to establish a definitive site. Therefore, the objective of this study was to evaluate in nursery and plantation the effect of biofertilization of two types of commercial mycorrhiza (solid and water-soluble) in 2 forest species *Acacia melanoxylon* and *Cedrela montana*. The arrangement of the plant material in the transitional nursery complied with a completely random balanced block design, with 12 degrees of freedom, three treatments (without mycorrhiza WM, liquid mycorrhiza LM and solid mycorrhiza SM), seven blocks, 21 replicas and 25 experimental units in each replica. In plantation was installed an experimental design of completely random unbalanced blocks, defining three sites inside the property and installing three segments of straight each, in which the plant material corresponding to each of the treatments was sown, two response variables were evaluated, total height of the seedling and diameter at the base of the stem both in nursery and in plantation. The forest plant material that presented the highest quality both in the nursery and in the final establishment of the seedlings was for LM and SM treatments without showing significant difference between them.

* Degree work

** Instituto of Regional Projection and Distance Education IPRED, forest engineering program.

Director: Julián Mauricio Botero Londoño PhD in Agricultural Cs Agrarias.

Introducción

El establecimiento de especies forestales presenta obstáculos relacionados con los procesos de multiplicación y adaptación (Aberastain, 2021). Esto implica la necesidad del uso de alternativas para mejorar la calidad de las plántulas en vivero y lograr un alto porcentaje de supervivencia en plantación (Falcón et al., 2013).

El uso de micorrizas arbusculares (MA) es una alternativa para producir plántulas de excelente calidad, pues se ha demostrado en diversos estudios el efecto benéfico de esta simbiosis, mostrando un incremento en el crecimiento, desarrollo y supervivencia del material vegetal inoculado (Ramírez et al., 2018).

Las micorrizas arbusculares son microorganismos fúngicos (*Phylum Glomeromycota*) presentes en el suelo que forman una relación simbiótica con material vegetal (*Bryophyta*, *Pteridophyta*, *Gymnosperma* y *Angiosperma*), el material fúngico es simbionte obligado, mientras que, el vegetal es simbionte facultativo (Diagne et al., 2020). Las MA se caracterizan por: desarrollar hifas no septadas y sin manto inter e intra-celular, estructuras de intercambio denominadas arbusculos dentro de las células corticales de la raíz, producción de esporas intra y extraradicales y algunas desarrollan vesículas dentro de las raíces (Nazareno et al., 2020). Es de tipo endótrofo, se puede observar únicamente al microscopio o con lupa binocular si se cuenta con amplia experiencia, no son tan específicas por tanto se hallan en un sinnúmero de especies forestales (Trujillo, 2019).

Esta asociación brinda beneficios al material vegetal forestal, creando un ambiente adecuado para la absorción de nutrientes, aumentando la disponibilidad de aquellos que son de baja movilidad en suelos de baja fertilidad (Etesami et al., 2021).

La simbiosis entre el sistema radicular de la plántula y las micorrizas arbusculares se puede enumerar por etapas de la siguiente manera: pre-infección, infección primaria, formación de arbusculos y vesículas, extensión del hongo en las raíces y en la rizósfera, propagación del hongo a través del suelo y finalmente se da la formación de estructuras reproductivas para continuar con el ciclo (Nazareno et al., 2020).

Conforme a lo anterior el objeto de este estudio fue evaluar 2 tipos de inóculos obtenidos de manera comercial, de micorriza arbuscular, sobre el desarrollo y supervivencia de dos especies forestales, *Acacia melanoxylon* y *Cedrela montana*, tanto en vivero como en plantación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la respuesta de inoculación sólida e hidrosoluble, sobre *Acacia melanoxylon* y *Cedrela montana* a nivel de vivero y primera etapa del establecimiento de la plantación en forma de cerco vivo sencillo.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar el porcentaje de inoculación obtenido por la especie *Acacia melanoxylon* y *Cedrela montana* por medio de la observación microscópica de estructuras fúngicas en las raíces de las plántulas expuestas a cada uno de los tratamientos y al final de la etapa de vivero.

Medir el rendimiento de la variable altura total, obtenido por tratamiento en las dos especies forestales en la etapa de vivero y en la primera etapa del establecimiento de la plantación.

Calcular el rendimiento de la variable diámetro a la base del tallo, conseguido por tratamiento y especie, tanto en vivero como en la primera etapa del establecimiento forestal.

2. Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Micorrizas

Asociación mutualista simbiótica entre hongos benéficos con las raíces de las plantas en la que la planta brinda carbohidratos al hongo y este le permite a la planta una mayor asimilación de nutrimentos con baja disponibilidad en el suelo, el hospedero también les da una mayor resistencia a las raíces de las plantas contra patógenos y le permite una mayor absorción de agua y un mejor desarrollo radicular (Camargo et al., 2012).

2.1.2 Tipo de micorrizas de acuerdo con el grado de penetración de las hifas

2.1.2.1 Ectomicorrizas. Su principal característica es un manto de hifas presente en las raíces de las plantas, el hongo no penetra dentro de las células de las raíces si no que su interacción es intercelular, el manto hifal representa un 40% del total de la raíz (Chaudhary et al., 2022).

2.1.2.2 Endomicorrizas. Las hifas en este grupo de micorrizas crecen inter e intracelularmente en la raíz y generalmente carecen del manto hifal alrededor de las raíces, poseen mayor distribución geográfica frente a las ectomicorrizas en el material vegetal (Bryophyta, Pteridophyta, Gymnosperma y Angiosperma), poseen estructuras de intercambio denominadas arbusculos presentes dentro de las células corticales de la raíz, producen esporas intra y extraradicalmente y algunas especies desarrollan vesículas dentro de las raíces (Nazareno et al., 2020).

2.1.2.3 Ectendomicorrizas. Micorrizas de tipo arbustoide con manto hifal y una penetración intracelular desarrollada, es una micorriza intermedia pues no es ectomicorriza ni endomicorriza sino más bien una mezcla de las dos (Chaudhary et al., 2022)

2.1.3 Etapas de la simbiosis entre el material fúngico (MA) y el simbiote vegetal

2.1.3.1 Pre-infección. Las MA en el suelo poseen 3 formas de propagarse, mediante raicillas colonizadas, hifas y esporas, su germinación se verá afectada por el potencial de hidrogeno (pH) del suelo, temperatura, humedad, cantidad de oxígeno e incluso por la cantidad de dióxido de carbono, si las esporas al momento de germinar no entran en contacto con las raíces perderán su viabilidad rápidamente esto también sucederá con las otras formas que tiene el hongo de propagarse, mientras que si las raicillas, esporas o hifas se encuentran cerca de la planta huésped estas colonizaran la raíces rápidamente (Nazareno et al., 2020).

2.1.3.2. Infección primaria. Los cambios en las células epidérmicas de la raíz crean el aparato de pre-penetración (APP) este es un orgánulo que se origina antes de la infección y es guiado por el núcleo de la célula epidérmica de la raíz para dar lugar a un apresorio seguido de la colonización (Berruti et al., 2016).

2.1.3.3 Formación de arbusculos y vesículas. Después de que la hifa penetra en las células corticales se va formando el arbusculos el cual le lleva de 2 a 5 días estar completo, en esta estructura se lleva a cabo los intercambios de nutriente más frecuentes entre el hospedero y huésped y algunas de las especies de MA crean vesículas, estas se forman poco después de los arbusculos y su función es el almacenamiento de lípidos como el fosforo, estas vesículas tienen la capacidad de actuar como una estructura de propagación los géneros de micorrizas *Gigaspora* y *Scutellospora* nunca forman vesículas, en cambio, crean células auxiliares en el micelio externo (Nazareno et al., 2020)

2.1.3.4 Extensión del hongo en las raíces y en la rizósfera. Se divide en 3 periodos: inicial, exponencial y meseta, el primero se da en la etapa de infección primaria, el segundo ocurre cuando el hospedero se propaga inter e intra-celularmente, en raíces secundarias de manera que el hongo crece más rápido que la raíz y el tercero se da en el momento que la raíz y el hongo tienen

crecimiento similar en los periodos exponencial y de mesetas las vesículas y arbusculos se degradan y forman constantemente (Selvakumar et al., 2018).

2.1.3.5. Propagación del hongo a través del suelo. Durante la primera etapa de propagación en la raíz y después de darse la infección primaria, las hifas del hongo comienzan a crecer de la raíz hacia el suelo, estas son las que se encargan de transportar y absorber los nutrientes y llevarlos hacia la raíz (Fasusi et al., 2021)

2.1.3.6 Formación de estructuras reproductivas. Los MA tiene la capacidad de formar esporas por medio del micelio extra radical, producidas por las hifas esporógenas en posición intercalar o apical y dependiendo de la especie de MA las esporas pueden originarse en las primeras 4 semanas o demorarse hasta 6 meses, las raicillas colonizadas son otra estructura reproductiva que tienen los hongos micorrícicos arbusculares para proliferarse (Nazareno et al., 2020).

2.1.4 *Acacia melanoxylon* (*Acacia Japonesa*)

2.1.4.1 Condiciones aproximadas de adaptación. Se desarrolla en un rango altitudinal comprendido entre los 1800 y 3000 m s. n. m., a una temperatura promedio anual de 15 °C, tolera heladas de hasta -7°C. Opta por lluvias anuales de 750 a 2.700 mm, tolerante a sequías, sombra en sus primeros años y vientos salinos, prefiere suelos profundos, bien drenados, coloniza suelos carentes de vegetación, suelos muy húmedos pudren sus raíces, los vientos fuertes pueden tumbarlos, por la expansión de sus raíces y la formación de rebrotes no se deben sembrar en avenidas y antejardines (López et al., 2014).

2.1.4.2 Descripción de árbol. Puede alcanzar 20 m de altura y 60 cm de diámetro, su copa generalmente cónica y densa, color verde blancuzco, ramitas jóvenes y angulares, con brotes glabros o algunas veces pubescente, la corteza externa agrietada y escamosa de color gris oscuro, las hojas son filodios dando la apariencia de hojas simples, glabras que se disponen de forma

alterna, presentan pequeñas estípulas libres, las hojas inicialmente nacen bicompuetas, algunas veces se producen en el ápice del filodio, las inflorescencias son cabezuelas globosas, solitarias dispuestas en racimos axilares cortos de color blanco amarillento, los frutos se encuentran en vaina color marrón de forma oblonga encorvado o retorcido en espiral, aplanado y los márgenes engrosados, dehiscentes a lo largo de ambos márgenes (López et al., 2014).

2.1.4.3 Manejo de la semilla. Las semillas que presentan esta especie son ortodoxas de cubierta dura, se almacena en lugares frescos y secos a temperatura ambiente por largo tiempo, o en sitios secos con temperaturas entre los 4 y 5 °C y contenidos de humedad del 6 al 8% hasta por 7 años y requieren tratamiento pregerminativo obligatoriamente para inducir la germinación, por tanto, se debe escarificar con lija, hasta que las semillas pierdan el brillo, después se sumergen en agua hirviendo por 1,5 minutos para dejarlas en remojo entre 12 y 24 horas, de un kg de semillas se obtiene un promedio como mínimo de 20.000 plántulas en vivero, y la germinación ocurre entre los 8 y 20 días (Trujillo, 2019).

2.1.4.4 Producción en vivero. Se recomienda un sistema tradicional de producción en bolsa, es necesario realizar tratamiento pregerminativo y sembrarlas tan superficial como sea posible, al usar turba se evita desinfectar el sustrato de los germinadores, se deben proteger los germinadores del exceso de humedad y problemas sanitarios, por ello se recomienda el uso de plásticos translúcidos al menos a 80cm de altura, al final del periodo de producción, crecimiento, desarrollo y trasplante, se debe garantizar un tiempo lo suficientemente largo para que los árboles alcancen una altura entre 12 y 25 cm para llevar a campo (Trujillo, 2019).

2.1.4.5 Plantación y manejo silvicultural. Esta fase debe cumplir con algunas condiciones básicas, para alcanzar hasta 30 m de altura, y en el entendido que el crecimiento puede ser rápido alcanzando 2 m de altura y 2,5-3,0 cm de diámetro al año de plantada, debido a que esta es una

especie rústica, la fertilización no es camisa de fuerza para la plantación, generalmente puede ser plantada a distancias mínimas de 2x2 m y se puede utilizar la siembra directa (Trujillo, 2019).

2.1.4.6 Plagas y enfermedades. Se puede ver afectada especialmente por chupadores de savia como: *Pseudococcus sp*, *Coccus sp*, y pulgones del género *Aphis*, es propensa al ataque de perforadores y defoliadores como las hormigas en zonas cálidas, su raíz es seriamente afectada por ataques de *Armillaria sp* (Trujillo, 2019).

2.1.4.7 Características de la madera. Posee densidad alta de 0,6-0,7 g/cm³, con durabilidad natural moderada, partible, moderadamente pesada y dura, su duramen pardo-dorado o pardo oscuro, tiene grano generalmente recto y a veces entrecruzado u ondulado, resulta en figuras como de dorso de violín en las secciones radiales, su madera es fácil de secar y de trabajar, presenta buenas propiedades de flexión, y es fácil de curvar (López et al., 2014).

2.1.4.8 Usos no máderables. La madera contiene un compuesto tóxico llamado acamelin y 2,6-dimetoxyl-4 benzoquinona, el cual produce alergias, dermatitis y problemas de bronquios a quienes trabajan con ella, su corteza y las ramitas son utilizadas por los aborígenes como un ictiotóxico, se ha empleado durante muchos años como recuperadora de suelos y para controlar la erosión, esta categorizada como una especie invasora (López et al., 2014).

2.1.4.9 Usos máderables. En la industria de la construcción y del mueble se considera como una de las maderas más decorativas e incluso se compara con la madera de Nogal, Caoba y Teca, es utilizada para fabricar muebles finos, al ser una madera liviana y fácil de procesar y para la producción de chapas y láminas, su duramen se utiliza en ebanistería y es apreciado por su color castaño dorado a castaño oscuro, se utiliza para el revestimiento de paneles interiores y tonelería (López et al., 2014).

2.1.4.10 Características macroscópicas de la madera. La madera tiene albura con color amarillo claro a café muy pálido (10YR 8/3), su duramen es de color café claro (7.5 YR7/4) con tonalidades que van desde castaño dorado a castaño oscuro (7.5 YR 5/3), presentando tintes y rayas de diferentes tonalidades oscuras, mostrando un vetado con bandas por pigmentación de diferentes tonalidades, posee transición abrupta entre albura y duramen, siendo siempre menor la proporción de albura, el olor y el sabor es no distintivo, mientras que la textura es de mediana a homogénea con grano recto, lustre mediano y Madera medianamente dura y pesada, presenta anillos de crecimiento diferenciables, por banda de madera tardía más oscura con poros visibles a simple vista, de parénquima longitudinal visible con lupa de 10X, radios visibles con lupa de 10X, medianos y con ausencia de rizos (López et al., 2014).

2.1.4.11 Características microscópicas. La madera de la especie *Acacia melanoxylon*, posee fibras con pared celular de delgada a mediana no septadas y porosidad difusa con poros ovalados sin patrón de disposición, platinas de perforación simples, punteaduras intervasculares, punteaduras radiovasculares y punteaduras simples visibles en planos tangencial y radial, parénquima axial paratraqueal vasicéntrico y paratraqueal aliforme de ala corta y ancha y paratraqueal unilateral, radios de una a tres células de ancho, bajos y homocelulares compuestos exclusivamente por células procumbentes, y presenta cristales prismáticos en células de parénquima axial (López et al., 2014).

2.1.5 *Cedrela montana* (Cedro de altura)

2.1.5.1 Condiciones aproximadas de adaptación. Se desarrolla a una altitud comprendida desde los 1.600 hasta los 2.800 m s. n. m, soporta una temperatura media de 15 °C, lluvia anual de 500 a 2.000mm, tolera la sombra y resiste períodos de sequía hasta de 5 meses, Elige suelos profundos, bien drenados, tolera sitios húmedos (Trujillo, 2019).

2.1.5.2 Descripción de árbol. Alcanza hasta 30 m de altura y 2 m de diámetro, es caducifolio, presenta corteza fisurada con pequeñas escamas de color blanco grisáceo y corteza viva de color rosado olorosa, tiene hojas compuestas que miden 35 cm de largo por 15 cm de ancho alternas helicoidales paripinadas, foliolos compuestos o subopuestos de borde entero forma elíptica y ápice de ángulo recto y base redonda de algunas veces acorazonada pubescente sin estípulas ni exudado, sus inflorescencias se presentan en panículas terminales con flores tubulares pequeñas de pétalos color amarillo cobrizo y sus frutos están en cápsulas leñosas ovoides cubiertas por pequeñas lenticelas dehiscentes con cinco valvas cuyo interior es de color amarillo que representa una flor abierta (López et al., 2014).

2.1.5.3 Manejo de la semilla. La semilla es ortodoxa y debe almacenarse a una temperatura de 4 °C, en bolsas plásticas o envases sellados, limpios y secos en lugar fresco, máximo por nueve meses. Pierde rápidamente la viabilidad a temperatura ambiente o contenido de humedad superior del 10-12%. No requiere de tratamiento pregerminativo, para lograr una germinación uniforme, basta con la inmersión en agua durante 24 horas. Por kilogramo de semilla se logran mínimo unas 10.000 plántulas. La germinación ocurre entre los 5 y 16 días (Trujillo, 2019).

2.1.5.4 Producción en vivero. Sirve un sistema tradicional con bolsa, es necesario la inmersión en agua durante 24 horas para la semilla y sembrarlas tan superficial como sea posible y usando turba, los germinadores se deben proteger de la lluvia directa para evitar encharcamientos y aparición de problemas sanitarios, usando plásticos traslucidos al menos a 80 cm de altura de los germinadores, es de vital importancia que la última fase de la producción en vivero, el crecimiento, desarrollo, endurecimiento y trasplante, debe ser lo suficientemente largo, para que las plántulas alcancen una altura entre 12 y 25cm para llevar a campo (Trujillo, 2019).

2.1.5.5 Plantación y manejo silvicultural. En esta fase se debe cumplir con algunas condiciones básicas para alcanzar un crecimiento hasta de 35 m de altura y 2 m de diámetro. Por ejemplo: al sitio de plantación se le debe realizar una buena limpia pues esto evita el ataque del barrenador; la distancia de siembra para bosque productor debe estar entre los 8 y 15 m; para sistemas agroforestales y silvopastoriles debe respetarse distancias que oscilen entre las recomendadas para bosques productores; no se recomienda realizar plantaciones altamente densas ni homogéneas con esta especie debido a la susceptibilidad al ataque del barrenador a su yema principal (Trujillo, 2019).

2.1.5.6 Influencia de plagas y enfermedades. La mayoría de las especies pertenecientes a la familia dendrológica Meliaceae, son atacadas por la polilla de género (*Hipsiphylia grandella*) (Trujillo, 2019).

2.1.5.7 Características de la madera. La madera de esta especie posee densidad media de 0,48 g/cm³, durabilidad natural de media hasta buena, presenta fácil secado, debe someterse a procesos de preservación y tiene fibra recta y grano medio (López et al., 2014).

2.1.5.8 Usos principales. Su Madera es apta en carpintería y ebanistería para interiores y exteriores, muebles, contrachapeado, instrumentos musicales, artesanías y para construcción de viviendas (López et al., 2014).

2.2 Marco Legal

2.2.1 Normativa legal vigente

2.2.1.1 Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

2.2.1.2 Ley 99 de 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.

2.2.1.3 Ley 101 de 1993. Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero.

2.2.1.4 Ley 139 de 1994. Por la cual se crea el Certificado de Incentivo Forestal (CIF) y se dictan otras disposiciones.

2.2.1.5 Decreto 1824 de 1994. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 139 de 1994.

2.2.1.6 Decreto 1791 de 1996. Por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.

2.2.1.7 Decreto 1498 de 2008. Por el cual se reglamenta el parágrafo 3° del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y el artículo 2° de la Ley 139 de 1994.

2.2.1.8 Decreto 4145 de 2011. Por el cual se crea la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios - UPRA y se dictan otras disposiciones.

2.2.1.9 Decreto 2448 de 2012. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto número 1824 de 1994.

2.2.1.10 Decreto 4600 de 2011. Por el cual se crea la Ventanilla Única Forestal.

2.2.1.11 Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

2.2.1.12 Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

2.2.1.13 Resolución número 000411 de 2018. Por la cual se señala el valor de los costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones, el valor de los costos de mantenimiento de bosque natural y se fija el incentivo por árbol, para efectos del Incentivo Forestal para el año 2019.

2.2.1.14 Ley 1731 de 2014. Por medio de la cual se adoptan medidas en materia de financiamiento para la reactivación del sector agropecuario, pesquero, acuícola, forestal y agroindustrial, y se dictan otras disposiciones relacionadas con el fortalecimiento de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

2.2.1.15 Proyecto de Ley 171 de 2016. Por medio del cual se promueve la siembra obligatoria de árboles – Ley Siembra Verde”.

2.2.1.16 Decreto 2398 de 2019. Por el cual se sustituye el título 3 de la parte 3 del libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural 1071 de 2015, relacionado con el certificado de movilización de plantaciones forestales comerciales”

2.2.1.17 Resolución número 000411 de 2018. Por la cual se señala el valor de los costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones, el valor de los costos de mantenimiento de bosque natural y se fija el incentivo por árbol, para efectos del Incentivo Forestal para el año 2019.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Conceptos generales

2.3.1.1 FUNGIFERT. Inoculante fúngico comercial de MA hidrosoluble que se usa como tratamiento en la zona de la raíz, en plántulas forestales para mantener y lograr un buen estado fitosanitario, vigor, la resistencia al estrés biótico y abiótico, mejorando la calidad del material vegetal para establecer en campo.

2.3.1.1.1 Descripción del producto. Contiene un polvo seco hidrosoluble, su mezcla se asemeja a un cóctel de cuatro cepas seleccionadas de hongos de micorrizas arbusculares tóxicamente identificadas en forma de esporas micro encapsuladas de larga viabilidad que colonizan y dinamizan las raíces en las latifoliadas, la mezcla incluye un estimulante (Isoflavonoides) que acelera el proceso de la colonización de las micorrizas arbusculares en la raíz

de las plantas inoculadas, contiene nutrientes estimulantes orgánicos del suelo y la nueva fórmula es un completo tratamiento para los suelos perturbados donde se desea obtener cultivos sanos de larga duración y productividad.

2.3.1.1.2 Dosificación y forma de aplicación en viveros forestales. Se recomienda aplicar como mínimo ocho días después de haber suspendido los tratamientos fitosanitarios (fungicidas), durante el día de la aplicación de la solución endomicorrizas hidrosolubles, no regar los contenedores para que se absorba más la solución con micorrizas, se diluyen 200 gramos de FUNGIFERT en aproximadamente un litro de agua hasta formar una pasta semilíquida, disolver poco a poco, y luego adicionarla a 20 litros de agua (sin cloro), si se desea se puede utilizar la misma proporción para menor cantidad de producto, aplicar la solución después de las cinco de la tarde y al otro día de aplicada la solución regar con abundante agua.

2.3.1.1.3 Almacenamiento del producto. Este producto es estable en un lugar fresco y seco, máximo ocho meses, comprobar fecha de caducidad en el paquete.

2.3.1.2 Safer micorrizas M.A. Inoculante fúngico comercial de MA, bioestimulante radicular que permite incrementar la productividad de las plantas, potencializando su sistema radicular, estableciéndose como una alternativa en producción vegetal, más eficiente y amigable con el planeta.

2.3.1.2.1 Descripción y mecanismo de acción del producto. Es un producto comercial con base en micorrizas arbusculares de los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellosporay* y *Entrophospora*, el producto contiene raicillas colonizadas, micelio libre y esporas en un sustrato sólido, que facilitan el crecimiento y desarrollo de las plantas al establecer una simbiosis, lo cual beneficia a la mayoría de los cultivos de importancia económica puesto que hace más eficiente la absorción de agua y sales minerales, tolerancia a condiciones de estrés por salinidad y protege el

sistema radicular de las plántulas contra el ataque de hongos fitopatógenos radiculares y nemátodos.

2.3.1.2.2 Dosificación y forma de aplicación en viveros forestales. Se debe aplicar Safer micorrizas M.A al momento de la siembra o trasplante con la dosis recomendada para el cultivo del café la cual es 20g/sitio.

2.3.1.2.3 Almacenamiento del producto. Se debe mantener el producto en un lugar fresco, seco y lejos de la radiación directa, evite almacenar con plaguicidas químicos de uso agrícola.

2.3.1.3 Turba Orange. Turba rubia con potencial de hidrogeno (pH) corregido, granulometría fina, pura o mezclada, es ideal para procesos de propagación como germinación de semillas.

2.3.1.3.1 Características de la turba. Turba rubia 100%, de 0 a 10 mm en granulometría, con pH que oscila entre los 5,1 y los 6,0, especial para tratarse como sustrato para la germinación de semillas.

2.3.1.4 Cerco vivo. Son plantaciones que se establecen en líneas sencillas o dobles para dividir potreros o linderos, establecer barreras rompe vientos, proteger fuentes de agua y contribuir al mejoramiento de la ecología local en el entendido de que proporcionan cobertura vegetal evitando la disminución o pérdida del recuso suelo, producen madera liberando carga al bosque nativo, proporcionar refugio a la fauna silvestre y consumen dióxido de carbono (CO₂) fijando Carbono y liberando oxígeno y contribuyen a disminuir el efecto invernadero.

3. Procesos Metodológicos

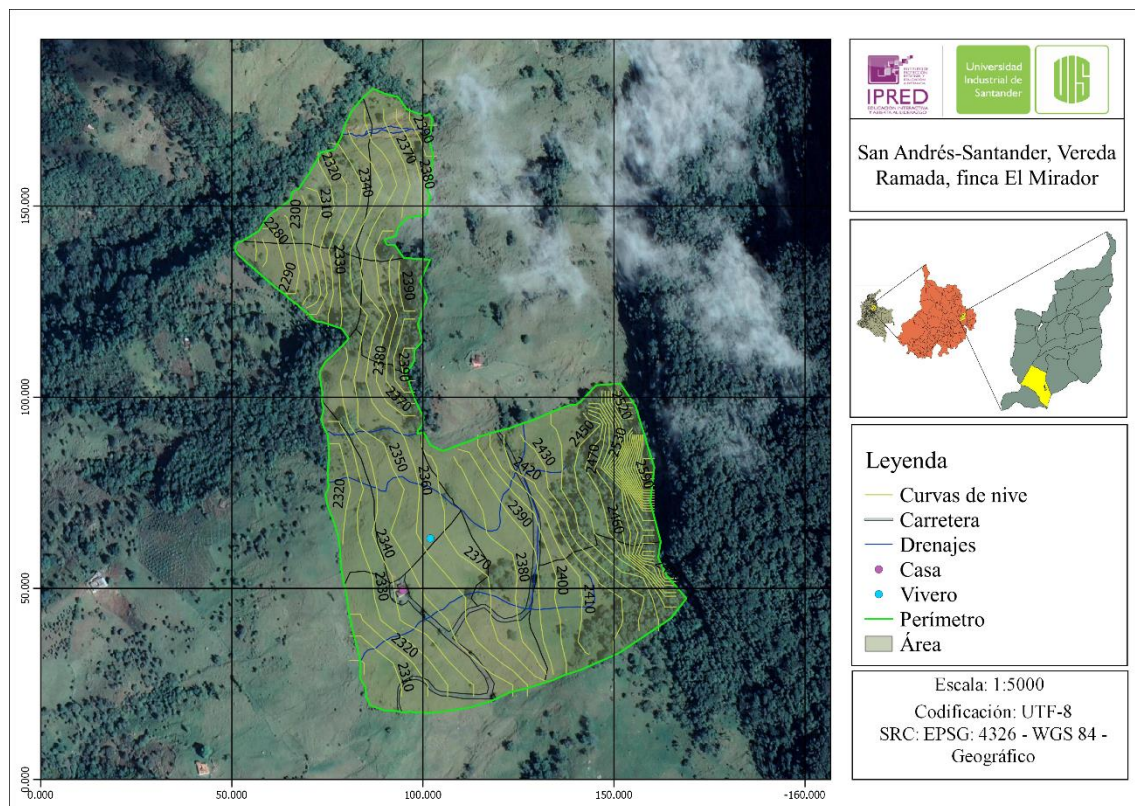
3.1 Localización y extensión del predio.

El establecimiento forestal que comprendió, tanto la etapa de vivero como la etapa de plantación en forma de cerco vivo sencillo, tuvo lugar en la finca El Mirador sector el Ciral, perteneciente a la vereda Ramada en el municipio de San Andrés, departamento de Santander. Se localizó entre las coordenadas geográficas: Norte $6^{\circ}42'56,28''$ y Este $72^{\circ}50'30,13''$.

La finca presenta un área de 14 ha en pradera; perímetro de 2.887 m aproximadamente; altitud promedio de 2.400 m s. n. m; cinco drenajes de los cuales tres de ellos son permanentes y un tramo de carretera como muestra la Figura 1.

Figura 1

Localización de la finca El Mirador



Nota. La figura muestra al predio denominado El Mirador.

3.2 Zona de vida en El Mirador

Al georreferenciar la imagen de zonas de vida del departamento de Santander, esta arrojó como resultado que el predio objeto de estudio de encuentra en una zona de vida Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Gidrot, 2011).

3.3 Fases del proyecto

3.3.1 Vivero

3.3.1.1 Vivero transitorio. Se adecuó un área de 65 m² en la cual se ubicaron dos micro túneles, en uno de ellos, se ubicó una era de germinación y en el otro, una de crecimiento. Se instaló una estructura para el almacenamiento de herramientas y materiales y otra para ubicar el material vegetal que no entró en el diseño experimental. Adicionalmente se instaló un tanque de almacenamiento de agua de 200 L. Por último, se realizó el respectivo cercado y drenaje del terreno (Apéndice A).

3.3.1.2 Germinación. En *Acacia melanoxylon*, se tomaron 800 semillas a las cuales se les aplicó el tratamiento pregerminativo de escarificación y remojo por 24 horas, mientras que en *Cedrela montana* se escogieron también 800 semillas y se dejaron en remojo por 24 horas antes de pasarlas a la era de germinación, la cual estaba formada por turba Orange, allí permanecieron por un periodo de 30 días (Apéndice B).

3.3.1.3 Porcentaje de germinación. El porcentaje de germinación (*PG.*) se calculó mediante la ecuación: $PG = (n/N) * 100$. Dónde; *n* = Número de semillas germinadas y *N* = Número de semillas sembradas en la era de germinación.

3.3.1.4 Trasplante. Finalizada la fase de germinación se procedió a trasplantar las especies forestales en una mezcla de suelo proveniente del mismo predio al 75% con 25% de cascarilla de para aplicarles los siguientes tratamientos:

T1= Testigo Sin Micorriza (SM)

T2 = Micorriza Líquida (ML)

T3 = Micorriza Sólida (MS) (Apéndice C).

3.3.1.5 Porcentaje de Supervivencia. El porcentaje de supervivencia (*PS*). Se realizó mediante la ecuación: $PS = (n/N) * 100$. Dónde: *n* = Número de plántulas en crecimiento y desarrollo y *N* = Número de plántulas trasplantadas.

3.3.1.6 Diseño Experimental Bloques Completamente al Azar. Se formó con tres tratamientos, siete bloques, 21 repeticiones y 441 unidades experimentales por cada especie como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Bloques Completamente al Azar

I	ML	MS	SM
II	SM	MS	ML
III	SM	ML	MS
IV	MS	SM	ML
V	MS	ML	SM
VI	ML	SM	MS
VII	MS	ML	SM

Nota. La figura representa la disposición de los siete bloques (I-II-III-IV-V-VI-VII), con sus respectivas repeticiones (SM-ML-MS).

3.3.1.7 Medición de variables. Se midieron pasados 90 días después del trasplante.

3.3.1.7.1 Variable Altura total. Se midió en centímetros, usando una regla (Apéndice D).

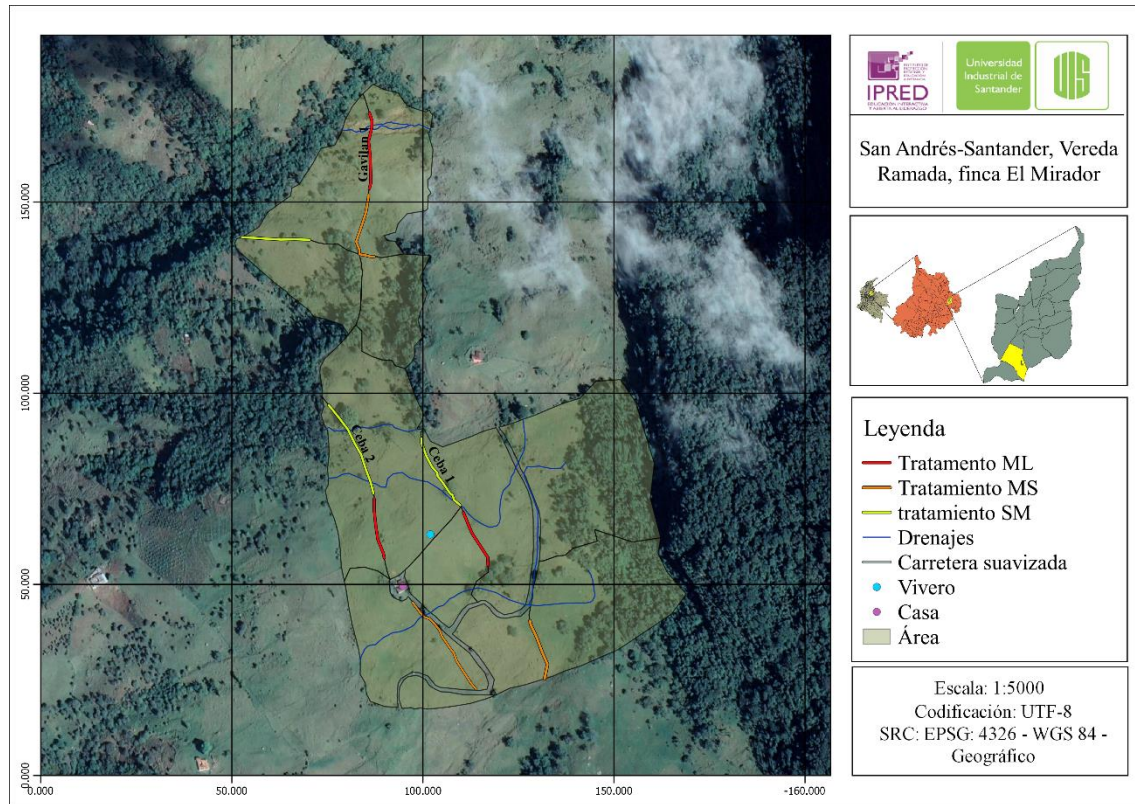
3.3.1.7.2 Variable Diámetro a la base del tallo. Se midió en milímetros usando pie de rey (Apéndice E).

3.3.2 Plantación

3.3.2.1 Establecimiento de la plantación en forma de cerco vivo sencillo. Dentro del predio El Mirador, se adecuaron tres sitios con características similares entre ellos, los cuales se denominaron: Ceba uno (C1), Ceba dos (C2) y Gavilán uno (G1) como se observa en la Figura 3.

3.3.2.1.1 Diseño Experimental de Bloques Completamente al Azar. Se instalaron tres segmentos por cada uno de estos sitios, en los cuales se dispuso el material vegetal proveniente del vivero con los tratamientos SM, ML y SM a lo largo de los segmentos. Cabe aclarar que los segmentos no tenían la misma longitud por tanto el diseño es desbalanceado.

3.3.2.1.2 Establecimiento del material vegetal en forma de cerco vivo sencillo. Pasados 150 días después del trasplante, se aseguró un distanciamiento de 2 m entre individuos en el segmento, a razón de un individuo de *Cedrela montana* por cada tres de *Acacia melanoxylon*, para sustentar así una distancia de 8 m entre ejemplares de *Cedrela montana*, mínimo recomendado por su ficha técnica (Apéndice F).

Figura 3*Instalación del material forestal en sitio definitivo*

Nota. La figura muestra los segmentos de la plantación en forma de cerco vivo sencillo.

3.3.2.1.3 Resiembra. Es importante resaltar que la cantidad de unidades experimentales instaladas en cada uno de los segmentos se mantuvo. Ya que, pasados 30 días después de la siembra en sitio definitivo, se realizó la resiembra.

3.3.2.1.4 Porcentaje de Supervivencia en plantación. El porcentaje de Supervivencia (*PS*). Se realizó pasados 30 días después del establecimiento del material vegetal en sitio definitivo y en forma de Cerco Vivo Sencillo mediante la ecuación: $PS = (n/N) * 100$. Dónde: *n* = Número de plántulas adaptadas en el sitio definitivo y *n* = Número de plántulas sembradas en el sitio definitivo.

3.3.2.1.5 Medición de variables en campo. Pasados 180 días después del establecimiento definitivo del respectivo material vegetal, se midieron las variables de interés.

3.3.2.1.6 Variable Altura total. Se midió en centímetros usando un decámetro.

3.3.2.1.7 Variable Diámetro a la base del tallo. Se midió en milímetros usando pie de rey.

3.3.3 Laboratorio.

3.3.3.1 Muestreo de Suelo. Antes del trasplante del material vegetal forestal se tomó una muestra del suelo para llevarlo al laboratorio de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga, usando la metodología propuesta por (Trujillo, 2019).

3.3.3.2 Muestreo de tejido vegetal. Se realizó un muestreo destructivo, siguiendo la metodología propuesta por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Se seleccionaron 16 individuos al azar por los tratamientos inoculados y especie, para llevar al laboratorio de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga. El material fue destinado para determinar el porcentaje de inoculación, tanto en la *Acacia melanoxylon* como en *Cedrela montana*.

3.3.3.3 Metodología para hallar el porcentaje de inoculación. Para su estimación se aplicó la metodología propuesta por Fungifert (2010) con modificación, que consistió en reemplazar el tinte Azul de Tripano al 0,05% Azul de Lactofenol al 0,05%, se tomaron ocho individuos por tratamientos y especie, luego se procedió a cortar y lavar el sistema radicular con agua de grifo para eliminar las partículas de suelo. Posteriormente las muestras se guardaron en cuatro recipientes de vidrio.

A las muestras se les agregó agua oxigenada (H_2O_2) al 30% hasta cubrir completamente las raíces y se dejó en reposo por un tiempo de 10 minutos (Apéndice G). Pasado este tiempo se

escurrieron muy bien, para luego agregarles una solución de hidróxido de potasio (*KOH*) al 10% y dejarlas en reposo por un tiempo de 24 horas

Luego se drenó la solución de (*KOH*) al 10% y se lavaron con agua corriente tres veces para agregarles una solución de ácido clorhídrico (*HCL*) al 10% y dejar en reposo por un periodo de 15 minutos, se agitaron varias veces en este lapso, después se decantó la solución y se lavó para eliminar el exceso de *HCL* (Apéndice H).

Finalmente se adicionó la solución de Azul de Lactofenol al 0,05% dejándolas en reposo por un periodo de 24 horas, Pasado este tiempo se decantó esta solución y se tomaron 10 fragmentos de raíz en un portaobjetos al cual se le adicionó glicerina y se llevó al microscopio esto para 1 laminilla, se observaron 40 laminillas por los tratamientos inoculados (Apéndice I).

El porcentaje de infección (*PI*) del material vegetal se calculó mediante la formula: $PS = (n/N) * 100$. Dónde: *n* = Número de campos colonizados y *N* = Número de campos observados.

3.3.3.4 Diseño experimental. En vivero se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar balanceado, con 12 grados de libertad, tres tratamientos (sin micorriza SM, micorriza líquida ML y micorriza sólida MS), siete bloques, 21 réplicas y 25 unidades experimentales en cada réplica. En plantación se ubicó un diseño experimental de bloques completamente al azar desbalanceado, definiendo tres sitios al interior del predio e instalando tres segmentos de recta por cada uno, en los cuales se sembró el material vegetal correspondiente con cada uno de los tratamientos, y concluyo con el establecimiento forestal en campo de 497 unidades, 370 de la especie *Acacia melanoxylon* y 127 de la especie *Cedrela montana*.

Para determinar la significancia de las variables (Altura total de la plántula y diámetro a la base del tallo) en los tratamientos, se realizó la prueba de ANOVA y comparación de medias Tukey

HSD-Agricolae con ayuda del software RStudio. La variable porcentaje de germinación y sobrevivencia tanto en vivero como en plantación se hallaron con el software Excel.

4. Resultados y Discusión

4.1 En vivero

4.1.1 Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación en *Cedrela montana* fue del 75% y en *Acacia melanoxylon* del 95% debido a que la semilla de la acacia posee una mayor viabilidad que la del cedro, los resultados obtenidos se encontraron por el proveedor de las semillas.

4.1.2 Porcentaje de sobrevivencia

En *Cedrela montana* el porcentaje fue: SM (96,6%), ML (97,6%) y MS (98,9%) se encontró en rangos excelentes pues ningún valor fue inferior al 95%. Mientras que en *Acacia melanoxylon* presentó un porcentaje de sobrevivencia de SM (85,7%), ML (88,0%) y MS (86,3%), todos ellos inferiores al 95%, esto se debió a la dificultad para trasplantarla por su morfología.

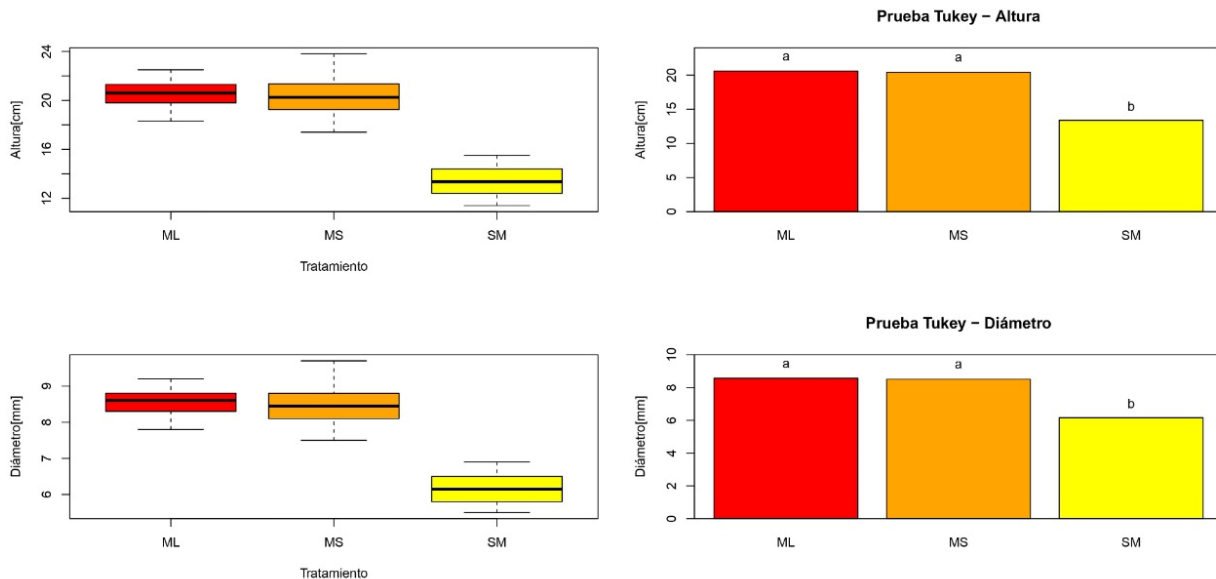
4.1.3 Altura total y diámetro a la base del tallo en *Cedrela montana*

El análisis de varianza (ANOVA) presentó diferencias ($P < 0,05$) entre tratamientos para la variable altura total; la prueba Tukey reveló que ML y MS con promedios de 11,0 y 10,9 cm respectivamente, no presentan diferencias estadísticas entre ellos, pero si frente a SM (8,2 cm). En cuanto a la variable diámetro a la base del tallo se encontró diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre tratamientos, la prueba Tukey probó que SM con media de 2,9 mm se diferenció de ML (5,3) y MS (5,4) Figura 4. Lo cual concuerda con el estudio realizado por Tavira (2013) el cual logró evidenciar un mejor rendimiento del material inoculado frente al no inoculado en las variables altura total con 11,6 cm frente a 9,3 cm y diámetro cuello de raíz 6,2 mm contra 5,4 mm esto en la

especie *Juglans regia* (Nogal común). Por otra parte, Rodríguez y colaboradores (2011) aseguran que los beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares, son evidentes en cuanto a la transferencia de nutrientes, protección contra patógenos del suelo y factores ambientales adversos al material vegetal forestal en su estudio “Los hongos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas”.

Figura 4

Altura total y diámetro a la base del tallo en Cedrela montana



Nota. En el gráfico de la prueba Tukey letras distintas revelan diferencias estadísticas ($P < 0,05$) del material forestal a 90 días del trasplante.

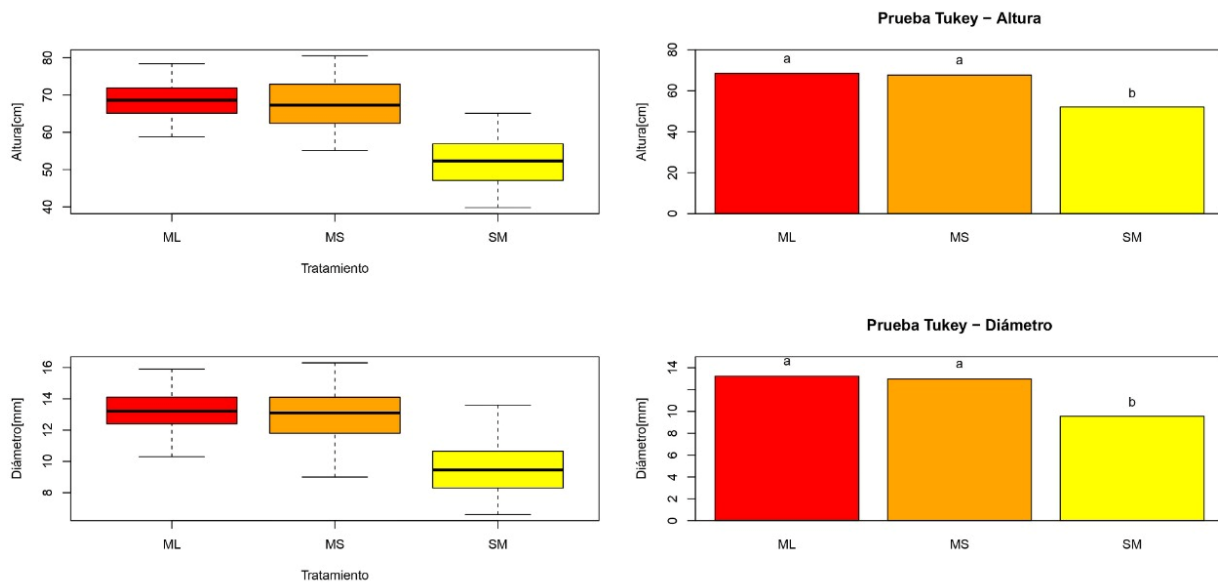
4.1.4 Altura total y diámetro a la base del tallo en *Acacia melanoxylon*

El ANOVA justificó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos en la variable altura total; la prueba reveló que no hay diferencia en ML y MS con promedios de 13,29 y 13,21 cm respectivamente, pero si frente a SM (10,01 cm). Para la variable diámetro a la base del tallo se presentaron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre tratamientos, la prueba Tukey arrojó que SM con media de 1,98 mm se diferenció frente a ML (3,62) y MS (3,68 mm) Figura 5. Lo cual

contrasta con la investigación hecha por Quispe (2021) quien obtuvo en 150 días un rendimiento superior del material inoculado frente al no inoculado en las variables altura total con 18,5 cm frente a 11,6 cm y en la variable diámetro 3,9 mm contra 2,2 mm en la especie *Coffea arabica* L (café) variedad Catimor.

Figura 5

Altura y Diámetro a la base del tallo en Acacia melanoxyton



Nota. En el gráfico de la prueba Tukey letras distintas revelan diferencias estadísticas ($P < 0,05$) del material forestal a 90 días del trasplante.

4.2 En Plantación

4.2.1 Porcentaje de supervivencia

En *Cedrela montana* el porcentaje de supervivencia en sitio definitivo fue alto en los tratamientos inoculados ML y MS, ya que presentaron una diferencia de 9,28% y 12,84% respectivamente frente a SM. Mientras que para la especie *Acacia melanoxyton* el porcentaje de supervivencia en el tratamiento SM presenta una diferencia a la baja de 15,9 puntos porcentuales con ML y 17,4 puntos porcentuales con respecto a MS, Figura 6. Lo cual concuerda por lo

expresado en el estudio de Fernández (Cruz, 2020) quien evidenció una baja mortalidad en plantas inoculadas frente a no inoculadas en la especie forestal *cedrela odorata* I., en su estudio denominado “Efectividad biológica de especies nativas de hongos micorrícicos arbusculares en cedro rojo (*cedrela odorata* I.).

Figura 6

Porcentaje de supervivencia del establecimiento forestal



Nota. La figura muestra el porcentaje de supervivencia para las dos especies establecidas en sitio definitivo.

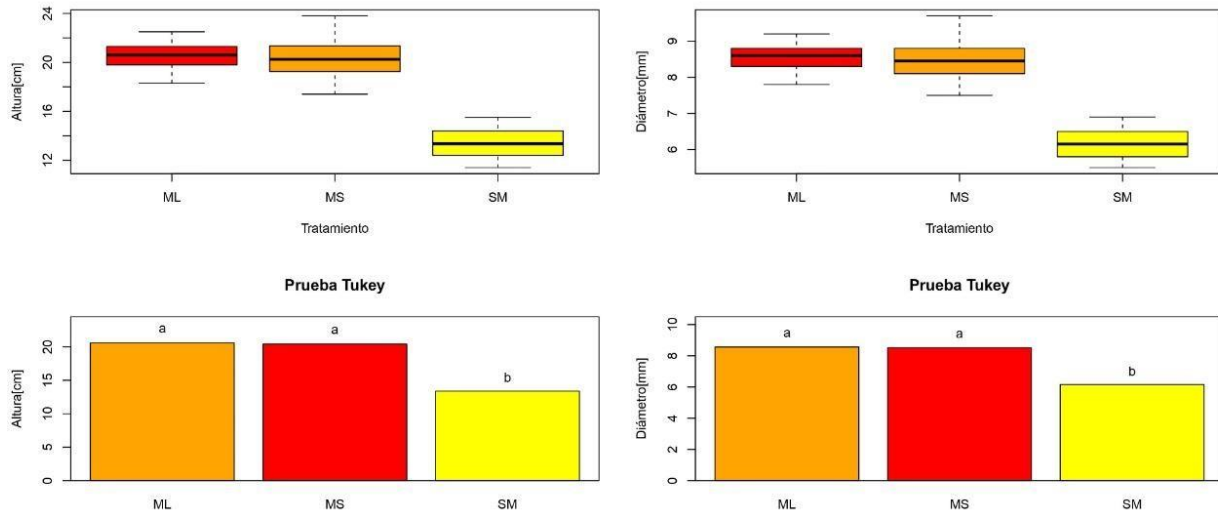
4.2.2 Altura total y diámetro a la base del tallo en *Cedrela montana*

El análisis de varianza presentó diferencias entre tratamientos en la variable altura total ($P < 0,05$); la prueba Tukey HSD reveló que ML y MS con promedios de 20,6 y 20,4 cm, respectivamente, no presentaron diferencias entre ellos, pero si frente a SM (13,38 cm). Para el diámetro a la base del tallo el ANOVA reveló diferencias ($P < 0,05$) entre tratamientos, la prueba Tukey evidenció que SM con media de 6,16 mm se diferenció de ML (8,56 mm) y MS (8,51 mm)

Figura 7.

Figura 7

Altura total y diámetro a la base del tallo en Cedrela montana



Nota. En el gráfico de la prueba Tukey letras distintas revelan diferencias estadísticas ($P < 0,05$) del material forestal a 180 días de establecida en sitio definitivo.

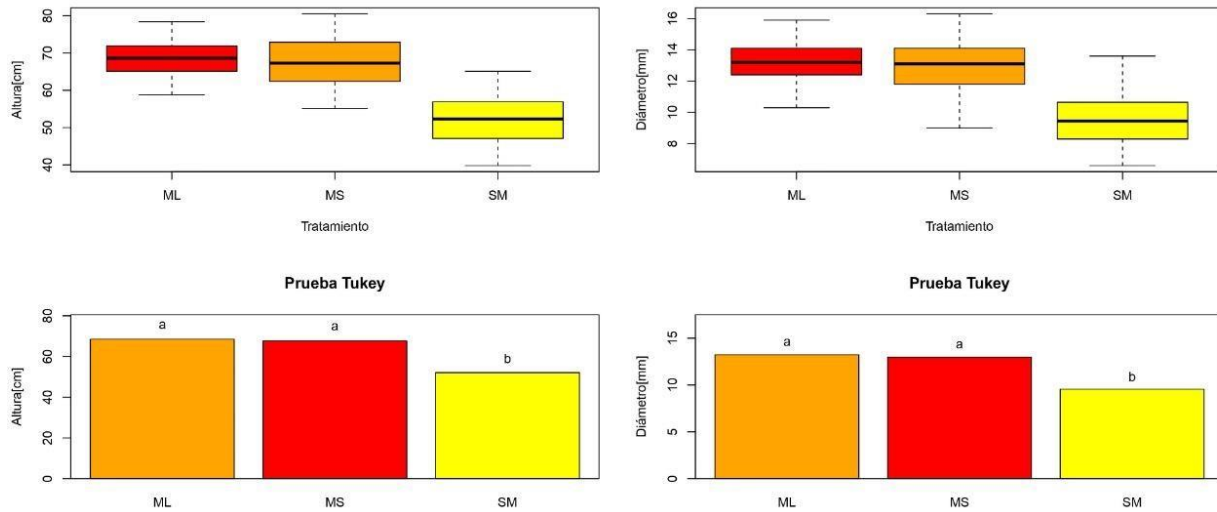
4.2.3 *Altura total y diámetro a la base del tallo en Acacia melanoxylon*

El análisis de varianza evidenció diferencias ($P < 0,05$) entre tratamientos para la variable altura total; la prueba Tukey HSD reveló que no hay diferencias en ML y MS con promedios de 68,5 y 67,7 cm respectivamente, pero si frente a SM (52,1 cm), mientras que para la variable diámetro a la base del tallo las diferencias fueron ($P < 0,05$) entre tratamientos y la prueba Tukey arrojó que SM con media de 9,6 mm se diferenció frente a ML con 13,2 mm y MS (13,0 mm)

Figura 8.

Figura 8

Altura total y diámetro a la base del tallo en Acacia melanoxylon



Nota. En el gráfico de la prueba Tukey letras distintas revelan diferencias estadísticas ($P < 0.05$) del material forestal a 180 días de establecida en sitio definitivo.

En un periodo de ocho meses en *Cedrela montana* se obtuvo un incremento en la variable altura total del tratamiento SM igual a 5,17 y en MS de 9,50 cm. Para la variable diámetro a la base del tallo fue de 3,20 en MS y de 4,60 mm en ML. En *Acacia melanoxylon* se obtuvo un incremento en la variable altura total del tratamiento SM igual a 42,1 y en MS de 54,5 cm. Para la variable diámetro fue de 9,28 con MS y de 7,28 mm SM. Lo cual contrasta con la investigación hecha por Hernández y Salas (2009) quienes en un periodo de 17 meses evidenciaron un incremento de la variable altura total en material no inoculado igual a 3,1 m, mientras que en el material inoculado fue de 4,1 m. Para la variable diámetro a la base del tallo, el material no inoculado logró un incremento de 5,0 y el material inoculado de 6.9 cm en la especie forestal *Gmelina arborea*.

4.3 Porcentaje de inoculación

El porcentaje de inoculación en el tratamiento ML fue de 27,3 y 34,8% y En MS de 27,0 y 34,3% para *Cedrela montana* y *Acacia melanoxylon* respectivamente. La inoculación fue baja, debido a que el suelo que se usó en la etapa de vivero presentó un porcentaje de fósforo igual a 21,58 con interpretación (Medio) y Materia orgánica (MO) igual a 15,71 con interpretación (Alta). En la investigación hecha por Falcón y colaboradores (2013) se afirma que la simbiosis es mayor en suelos deficientes en fósforo y materia orgánica (Apéndice O).

5. Conclusiones

Se logró determinar el porcentaje de inoculación micorrícica en las dos especies forestales, Siendo la acacia japonesa la que obtuvo mejor porcentaje de inoculación esto debido a que es una leguminosa y las señales que se dan entre raíz y hospedero son similares en MA y rizobios lo cual le permite tener mayor éxito de inoculación.

A pesar de que la inoculación en *Cedrela montana* y *Acacia melanoxyton* fue baja se ve reflejado un mayor rendimiento del material micorrizado frente al material testigo, lo cual nos permite afirmar que las micorrizas arbusculares son una buena opción para tener material vegetal de calidad.

La micorriza líquida es la mejor opción para las plántulas, porque a pesar de no haber diferencias estadísticas entre los tratamientos con micorrizas, el ML tiene una mayor facilidad en su embalaje debido a que la cantidad mínima en que se distribuye este producto es de media libra en comparación con el MS que es de 20 libras.

6. Recomendaciones

Es recomendable usar una bolsa para plántulas forestales de tamaño superior a la usada en este estudio, debido a que la aplicación de micorrizas sólidas se dificultó junto a el proceso de trasplante en la especie *Acacia melanoxylon*.

Se recomienda utilizar azul de tripano al 0,05% y no azul de lactofenol al 0,05% ya que las raicillas teñidas con esta solución se fueron degradando y en algunos fragmentos de raíz no se tiñeron en su totalidad.

Deben medirse otras variables como área foliar y porcentaje de humedad en raíz, tallo, ramitas y hojas para observar si puede haber diferencias entre los tratamientos micorrizados. En el estudio no se pudieron medir estas variables debido al costo y dificultad de transporte del material vegetal.

Se debe incentivar el estudio de Micorrizas arbusculares en la sede UIS Málaga, en especial a los estudiantes de ingeniería forestal, pues como se evidenció en la investigación estos microorganismos ayudan a la adaptabilidad de las plántulas en campo, lo que da a entender que tanto para plantaciones como para restauraciones ecológicas darán un mejor resultado en su supervivencia.

Referencias Bibliográficas

- Aberastain Oro, F. (2021, marzo 5). *Experiencia laboral en el Vivero Agroforestal "Pehuén"*. Repositorio Digital Institucional de La Universidad Nacional Del Sur (RID-UNS). <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5499>
- Albán Camacho, M. A. (2020). *Caracterización de los helechos (pterydophytas) presentes en el campus salache de la universidad técnica de Cotopaxi*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6643>
- Araujo Abanto, V. A. (2010). Curso básico de botánica general de la Universidad Nacional de Ucayali. *Universidad Nacional de Ucayali*. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4181>
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., & Bianciotto, V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. *Frontiers in Microbiology*, 6(JAN). <https://doi.org/10.3389/FMICB.2015.01559>
- Camargo Ricalde, S. L., Montaña, N. M., de la Rosa Mera, C. J., & Montaña Arias, S. A. (2012, julio 1). *Micorrizas: una gran unión debajo del suelo*. Revista Digital Universitaria. <https://www.ru.tic.unam.mx/handle/123456789/2038>
- Chaudhary, V. B., Holland, E. P., Charman Anderson, S., Guzman, A., Bell Dereske, L., Cheeke, T. E., Corrales, A., Duchicela, J., Egan, C., Gupta, M. M., Hannula, S. E., Hestrin, R., Hoosein, S., Kumar, A., Mhretu, G., Neuenkamp, L., Soti, P., Xie, Y., & Helgason, T. (2022). What are mycorrhizal traits? *Trends in Ecology & Evolution*, 37(7), 573–581. <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2022.04.003>
- Cháves Inca, K. M. (2018). *Determinación de la relación poblacional de tres especies forestales, Aegiphila erruginea, Oreopanax ecuadorensis, Vallea stipularis; en el bosque Leonan de Llucud, cantón Chambo, provincia de Chimborazo*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10373>
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., & Reinhardt, D. (2018). Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi – from ecology to application. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1270. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.01270/XML/NLM>
- Decreto 2811 de 1974 - Gestor Normativo - Función Pública*. (s/f). Recuperado el 8 de septiembre de 2022, a partir de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P. I., Fall, D., Hocher, V., & Svistoonoff, S. (2020). Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth and Performance: Importance in Biotic and Abiotic Stressed Regulation. *Diversity*, *12*(10), 370. <https://doi.org/10.3390/d12100370>
- Duggo, J. P. (2019). *Prima facie. La carga de demostrar la verosimilitud del derecho en el principio precautorio*. <https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/handle/ues21/18111>
- Etesami, H., Jeong, B. R., & Glick, B. R. (2021). Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Phosphate-Solubilizing Bacteria, and Silicon to P Uptake by Plant. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 1355. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.699618/XML/NLM>
- Falcón Oconor, E., Riera Nelson, M. C., & Rodríguez Leyva, O. (2013). Efecto de la inoculación de hongos micorrizógenos sobre la producción de posturas forestales en dos tipos de suelos. *Cultivos Tropicales*, *34*(3), 32–39. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000300005
- Fasusi, O. A., Amoo, A. E., & Babalola, O. O. (2021). Propagation and characterization of viable arbuscular mycorrhizal fungal spores within maize plant (*Zea mays* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(14), 5834–5841. <https://doi.org/10.1002/JSFA.11235>
- Fernández Cruz, E. (2020, enero 29). *Efectividad biológica de especies nativas de hongos micorrícicos arbusculares en cedro rojo (cedrela odorata l.)*. Repositorio Institucional UANL. <http://eprints.uanl.mx/3385/>
- Fungifert. (2010). *Determinación del porcentaje de infección de micorrizas arbusculares en raíces*.
- Gidrot, G. de I. sobre D. R. Y. O. T. (2011). SANTANDER 2030 DIAGNÓSTICO DIMENSIÓN BIOFÍSICO AMBIENTAL TERRITORIAL DE SANTANDER. *UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*, *1*(6), 194–199.
- Hernández, W., & Salas, E. (2009). Effect of inoculation with *Glomus fasciculatum* on nursery and field growth of four forest tree species. *Agronomía Costarricense*, *33*(1), 17–30.
- Ideam, I. de H. M. y E. A. (2010, junio). *LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA. METODOLOGIA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA. ESCALA 1:100.000.*

https://www.researchgate.net/publication/303960063_LEYENDA_NACIONAL_DE_COBERTURAS_DE_LA_TIERRA_METODOLOGIA_CORINE_LAND_COVER_ADAPTADA_PARA_COLOMBIA_ESCALA_1100000

- López Camacho, R., Pulido Rodríguez, E. N., González Martínez, R. O., Nieto Vargas, J. E., & Vásquez, M. Y. (2014). *MADERAS Especies comercializadas en el territorio CAR Guía para su identificación* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ed.; 1a ed., Vol. 1).
- Nazareno Saparrat, M. C., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2020). *Micorrizas arbusculares: Biología y aplicaciones en el sector agroforestal* (5a ed., Vol. 1).
- Quispe Mayta, F. J. (2021). Biofertilización de los Hongos Micorrízicos y Bacterias PGPR en plántulas de café (*Coffea arabica* L.) Var. Catimor a nivel de vivero, en Mazamari – Satipo. *Repositorio UNCP*, 1. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7262>
- Ramírez Gómez, M. M., Peñaranda Rolon, A. M., Pérez Moncada, U. A., & Serralde, D. P. (2018). Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(2), 15–26. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v16n2.96>
- Rodríguez Morelos, V. H., Soto Estrada, A., Pérez Moreno, J., & Negreros Castillo, P. (2011). Los hongos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas. *Asociación Interciencia*, 36(8), 564–569. <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33921395002>
- Selvakumar, G., Shagol, C. C., Kang, Y., Chung, B. N., Han, S. G., & Sa, T. M. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi spore propagation using single spore as starter inoculum and a plant host. *Journal of Applied Microbiology*, 124(6), 1556–1565. <https://doi.org/10.1111/JAM.13714>
- Tavira Cuadros, S., Ostos Abreu E., & Francia Martínez, J. R. (2013, junio 10). *Efectos de la inoculación con micorrizas arbusculares, en plantas de nogal común (Juglans regia)*. SEXTO CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL. <https://www.congresoforestal.es/actas/doc/6CFE/6CFE01-226.pdf>

Trujillo Navarrete. (2019). *Guía de reforestación* (DAYBERMEDIOS, Ed.; 4a ed., Vol. 1).
El semillero.

Apéndices

Apéndice A. Vivero transitorio.



Apéndice B. Era de germinación.



Apéndice C. Era de crecimiento.



Apéndice D. Altura.



Apéndice E. Diámetro.



Apéndice F. Establecimiento cerco vivo.



Apéndice G. Sistema radicular en H₂O₂.



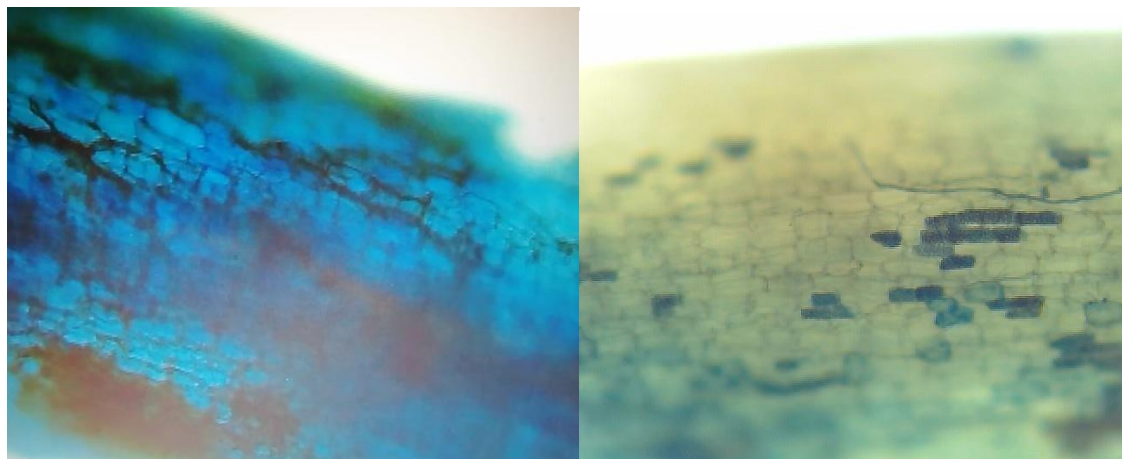
Apéndice H. Sistema radicular en KOH y HCl.



Apéndice I. Montaje del sistema radicular.



Apéndice J. Observación de cuerpos fúngicos.



Apéndice K. Plantación cerco vivo.



Apéndice L. Desarrollo radicular en SM.



Apéndice M. Desarrollo radicular en ML.



Apéndice N. Desarrollo radicular en MS.




Apéndice O. Laboratorio del suelo usado en el proceso de trasplante de las plántulas.


INFORMACIÓN DEL CLIENTE				
Nombre y apellido	Diego Armando Castellanos Ramírez			
Departamento	Santander			
Municipio	San Andrés			
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA				
Identificación	El Bosque (C1)	Altura	2.400 m s. n. m	
Matriz	Suelo	Cultivo	Pasturas	
Vereda	La Ramada	Estado	---	
Finca	El Mirador	Topografía del terreno	---	
Fecha de reporte: 29/07/2022				
DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR*	INTERPRETACIÓN*
pH (1:1)	Unidades de	pH con H ₂ O.	6,18	ligeramente ácido pH
Conductividad eléctrica	dS/m	Medición en suspensión suelo/agua relación 1:1 (peso/volumen)	0,041	No salino
Materia orgánica	%	Calcinación y cuantificación gravimétrica.	15,71	Alto
Fósforo disponible	mg/kg	Bray – II modificado.	21,58	Medio
Acidez intercambiable	meq/100 g	KCl	0,0219	Bajo
Aluminio intercambiable	meq/100 g	KCl	ND	Sin restricción
Calcio intercambiable	meq/100 g	Bases intercambiables.	12,92	Alto
Magnesio intercambiable	meq/100 g	Bases intercambiables.	0,77	Bajo
Potasio intercambiable	meq/100 g	Bases intercambiables.	0,18	Medio
Sodio intercambiable	meq/100 g	Bases intercambiables.	< 0,10	Normal
Capacidad de intercambio catiónico (CICE)	meq/100 g	Suma de cationes.	13,91	Media
Hierro intercambiable	mg/kg	Extracción con DTPA.	98,0	Alto
Manganeso intercambiable	mg/kg	Extracción con DTPA.	5,08	Medio
Zinc intercambiable	mg/kg	Extracción con DTPA.	2,78	Medio

Cobre intercambiable	mg/kg	Extracción con DTPA.	2,81	Medio
Saturación de Calcio	%	Cálculo	93	Alto
Saturación de Magnesio	%	Cálculo	6	Bajo
Saturación de Potasio	%	Cálculo	1	Bajo
Saturación de Sodio	%	Cálculo	0	Normal
Saturación de Aluminio	%	Cálculo	0	Óptimo

OBSERVACIONES: * Interpretación basada en: ICA,1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia N 25. NR: No Realizado, ND: No Detectado; Se hace corrección por pW (factor de corrección por humedad) para los análisis de Materia orgánica (M.O), Acidez intercambiable (Al+H), Aluminio intercambiable (Al), Calcio intercambiable (Ca), Magnesio Intercambiable, Potasio intercambiable (K), Sodio intercambiable (Na), Hierro disponible (Fe) Olsen, Manganeso disponible (Mn) Olsen, Zinc disponible (Zn) Olsen, Cobre disponible (Cu) Olsen y Boro disponible (B).

Más información:

 lab.reconvganadera@uis.edu.co

 3213346062 – 3113891538



Universidad Industrial de Santander – Sede Málaga.