

**Evaluación del establecimiento y crecimiento de una plantación *Eucalyptus globulus*
Labill., bajo condiciones edafoclimáticas de ecosistema alto andino.**

Laura Tatiana Silva Camacho

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

MSc. Rubén Carvajal Caballero

Codirector

MSc. Diego Suescún Carvajal

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2020

Dedicatoria

Este trabajo está enteramente dedicado a mis Padres EDGAR SILVA y OMAIRA CAMACHO a mis hermanos y sobrinitos porque gracias a ellos soy lo que soy y llegue hasta estas instancias por su amor y apoyo cuando más lo necesite por confiar en mí y dar alegría a mi vida, sin ellos no hubiera sido posible

Agradecimiento

A DIOS por sus infinitas bendiciones en especial por darme mi hermosa familia.

A mis padres EDGAR SILVA y OMAIRA CAMACHO por siempre estar conmigo por ser mi razón y mi motor en todos los pasos que doy, porque con su con esfuerzo, dedicación y constancia me enseñaron que las metas se pueden lograr.

Mis hermanos SANDRA, FREDY y EDWIN por apoyarme y estar siempre conmigo y por su valiosa colaboración en la ejecución del proyecto

A mis Sobrinitos CHRISTOPHER, NATHALY, MARIANA y DANNA, por ser uno de mis motores y una de mis razones por las que no desfallezco.

A mi compañero y Amigo MAURICIO SUAREZ por su amor, comprensión y apoyo incondicional por estar siempre conmigo, por sus esfuerzos y ayuda en el transcurso de mi carrera.

Al Ing. RUBEN CARVAJAL por compartir sus conocimientos y siempre estar dispuesto a enseñar, por su paciencia, su colaboración porque gracias a él la ejecución del proyecto salió a flote

Al Ing. LIBARDO RANGEL por permitir realizar mi Proyecto de grado en su propiedad, por estar atento a colaborar y siempre estar dispuesto a ayudar.

A mis Amigas ANGELICA, CLAUDIA, SANDRA y ROSSI por su amistad, por estar siempre para mí y por ayudarme a la ejecución del proyecto.

Al MSc. DIEGO SUESCÚN por su colaboración y ayuda en la elaboración del proyecto

Y a todas aquellas personas que de alguna manera me ayudaron y compartieron conmigo en el transcurso de mi carrera.

Con cariño, LAURA SILVA

Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Objetivos	18
1.1 Objetivo general.	18
1.2. Objetivos específicos	18
2. Marco Referencial	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Marco Teórico	21
2.2.1 <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	21
2.2.2 Impacto de las plantaciones de eucalipto	21
2.2.4 Modelos forestales de crecimiento	22
2.2.6 Manejo silvicultural y forestal del <i>Eucalyptus globulus</i>	23
2.3 Marco Conceptual	23
3. Proceso metodológico	26
3.1 Metodología	26
3.2 Localización	26
3.3 Duración del estudio.	27
3.4 Material vegetal	27

3.5 Descripción de las condiciones edafológicas del sitio de la plantación de <i>Eucalyptus globulus</i>	28
3.5.1 Tipo de suelo	28
3.5.2 Clases agrológicas del suelo	29
3.5.3 Cobertura vegetal	29
3.5.4 Uso potencial del suelo	29
3.5.5. Perfil del suelo	29
3.5.5.1 Horizontes diagnósticos	30
3.5.5.2 Color	30
3.5.5.3 Estructura del suelo	30
3.5.5.4 Observación de los agregados con ayuda del estereoscopio	30
3.5.5.5. Raíces	30
3.5.5.6 Profundidad efectiva del suelo.	31
3.5.5.7 Temperatura edáfica	31
3.5.5.8 Pedregosidad	31
3.5.5.9 Drenaje del suelo	31
3.5.6 Propiedades químicas del suelo	31
3.6 Descripción de las condiciones climáticas del área de estudio	31
3.7 Descripción de las variables dasométricas	32
3.7.1 En vivero	32

3.7.2 En Campo	32
3.8 Manejo de las labores silviculturales	33
4. Resultados y Discusión	34
4.1 Descripción de las condiciones edafológicas del sitio de la plantación de <i>Eucalyptus globulus</i>	34
4.1.1 Tipo de suelos	34
4.1.2 Clases agrológicas	35
4.1.3 Cobertura Vegetal	37
4.1.4 Uso potencial del suelo	38
4.1.5 Perfil del suelo	40
4.1.6 Textura	44
4.1.7 Color	46
4.1.8 Estructura del suelo	48
4.1.9 Observación de los agregados con ayuda del estereoscopio	49
4.1.10 Desarrollo de raíces o profundidad efectiva	50
4.1.11 Temperatura edáfica	52
4.1.12 Pedregosidad	53
4.1.13 Drenaje	54
4.1.14 Caracterización de los factores de formación que actúan en el perfil del suelo del área	56

EVALUACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO Y CRECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN	7
4.2 Propiedades químicas	59
4.2.1 pH: Potencial de hidrogeno	61
4.3 Descripción de las condiciones climáticas del sitio de la plantación de <i>Eucalyptus globulus</i>	62
4.4 Descripción de las variables dasométricas de la plantación <i>Eucalyptus globulus</i>	65
4.4.1 Altura en vivero	65
4.4.2 Descripción de la altura y diámetro a los 20 cm del suelo de la plantación <i>Eucalyptus globulus</i>	67
4.4.3. Descripción de las variables morfológicas	71
4.4.4 Área foliar	77
4.5 Manejo de las labores silviculturales	80
4.5.1 Consecución de semillas	80
4.5.2 Germinación	82
4.5.3 Vivero	84
4.5.4 Establecimiento de la plantación	85
4.5.4.1. Preparación del terreno	85
4.5.4.2 Siembra	89
4.5.5 Mantenimiento	91
4.5.5.1 Plan de fertilización	91
4.5.5.2 Plan de podas	94

EVALUACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO Y CRECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN	8
4.5.5.3 Plan de malezas	96
4.5.5.4 Plan de manejo de enfermedades y plagas	97
5. Conclusiones	99
6. Recomendaciones	100
Referencias Bibliográficas	101

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio	27
Figura 2. Manejo de las variables para el estudio	33
Figura 3. Tipo de suelo del sitio de la plantación de <i>Eucalyptus globulus</i>	35
Figura 4. Clasificación agrológica del sitio de la plantación	37
Figura 5. Cobertura vegetal del sitio de estudio	38
Figura 6. Uso potencial del suelo del sitio de estudio.	40
Figura 7. Horizontes de la calicata 1.	41
Figura 8. Horizontes presentes en la calicata 2	42
Figura 9. Horizontes presentes en la calicata 3	43
Figura 10. Estimación de la textura del suelo en campo	45
Figura 11. Determinación del color presentes en los horizontes de estudio	47
Figura 12. Clasificación por tipo y tamaño de estructura para los horizontes presentes en el área de estudio.	48
Figura 13. Observación de los agregados presentes en el suelo de la plantación.	50
Figura 14. Presencia de raíces y profundidad efectiva	51
Figura 15. Medición de la temperatura edáfica.	52
Figura 16. Presencia de rocas en el sitio de la plantación	54
Figura 17. Determinación del drenaje	55
Figura 18. pH de los horizontes de estudio.	61
Figura 19. Mapa de Isoyetas	64

EVALUACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO Y CRECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN	10
Figura 20. Manejó en vivero de las plántulas	65
Figura 21. Altura de las plántulas en vivero.	66
Figura 22. Promedio de alturas en los diferentes lotes de estudio	68
Figura 23. Promedio de diámetros a los 20 cm del suelo	68
Figura 24. Diámetro a 20 cm del suelo de acuerdo al programa estadístico R Projet a los 270 días de establecida la plantación	69
Figura 25. Altura de acuerdo al programa estadístico R Projet a los 270 días	70
Figura 26. Labores dasométricas en campo	71
Figura 27. Pesaje de las hojas en verde y seco.	72
Figura 28. Pesaje de las ramas en verde y seco	73
Figura 29. Pesaje del tallo en verde y seco	74
Figura 30. Área foliar	78
Figura 31. Determinación del área foliar con el software Imagen J.	79
Figura 32. Consecución de la semilla de <i>Eucalyptus globulus</i>	81
Figura 33. Clasificación de la semilla	82
Figura 34. Desinfección, llenado y germinación de las bandejas	83
Figura 35. Manejo en vivero de las plántulas de <i>Eucalyptus globulus</i>	85
Figura 36. Preparación del terreno	86
Figura 37. Trazado parcela 1	87
Figura 38. Trazado parcela 2	88
Figura 39. Siembra	90
Figura 40. Fertilización	94
Figura 41. Podas	95

Figura 42. Control de malezas

96

Figura 43. Plagas y hongos presentes en la plantación de *Eucalyptus globulus*

98

Lista de tablas

Tabla 1. Características de las clases texturales presentes en cada horizonte.	46
Tabla 2. Tipos de colores presentes en los horizontes	47
Tabla 3. Tipo y tamaño de las estructuras presentes en el suelo de la plantación	49
Tabla 4. Clasificación de los agregados del suelo según su observación en el estereoscopio.	50
Tabla 5. Temperatura edáfica del sitio de la plantación	53
Tabla 6. Calculo del drenaje para el sitio de la plantación	56
Tabla 7. Caracterización de los factores de formación que actúan en el perfil del suelo del área	57
Tabla 8. Caracterización de las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil del suelo	58
Tabla 9. Resumen análisis de suelo	60
Tabla 10. pH presente en los horizontes del suelo de la plantación	62
Tabla 11. Resumen del Pesaje de hojas, ramas y tallos en verde y seco.	75
Tabla 12. Sugerencias para el plan de manejo de fertilización de acuerdo a las clases agrologicas que propone el IGAC	92
Tabla 13. Prácticas de manejo necesarias para cada horizonte	93

Lista de Apéndices

**Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos
de la Biblioteca UIS**

Apéndice A. Total datos

Apéndice B. Datos 60 días

Apéndice C. Datos 120 días

Apéndice D. Datos 180 días

Apéndice E. Datos 240 días

Apéndice F. Datos 300 días

Resumen

Título: Evaluación del establecimiento y crecimiento de una plantación *Eucalyptus globulus* Labill., bajo condiciones edafoclimáticas de ecosistema alto andino. *

Autor: Laura Tatiana Silva Camacho**

Palabras Claves: Condiciones edafoclimáticas, *E. globulus*, Dasométria, Morfología, labores silviculturales.

Descripción:

El establecimiento de plantaciones forestales con *E. globulus* no sustituyen a los bosques naturales en algunas de sus funciones, pero son una alternativa técnica, ambiental y económicamente sostenible, donde se generan materias primas y reincorpora suelos degradados o de poco uso productivo. Aspecto por el cual se generaron intereses desde el sector forestal para establecer una plantación de *E. globulus* en la finca La Cuadra ubicada en el municipio de Málaga a 1.585 m s. n. m., donde se incorporó 0,68 ha para llevar a cabo la evaluación del establecimiento de la plantación bajo condiciones edafoclimáticas de ecosistema alto andino. El material vegetal colectado fue de un bosque de *E. globulus* con condiciones medioambientales similares al sitio de la plantación, germinando las semillas en vivero, allí las plántulas alcanzaron alturas de 30 a 35 cm en 60 días, obteniendo un tamaño apropiado para ser llevadas a campo, donde se establecieron 420 árboles en 5 lotes sembrados bajo el método tres bolillos, posterior a la preparación del terreno. Para tal fin se realizó la descripción de la plantación determinando características edafoclimáticas, variables dasométricas, morfológicas y manejo de las labores silviculturales. Para la determinación de las variables edáficas se elaboraron 3 calicatas facilitando la observación y evaluación del perfil del suelo, en cuanto a las variables dasométricas se realizó el test de tukey en el software R-Projet, el cual mostro que no había diferencias significativas ($P < 0.05$) entre lotes, encontrando alturas máximas de 3,93 m y un diámetro a los 20 cm del suelo de 4,14 cm a los 11 meses, realizando las labores silviculturales apropiadas para su desarrollo.

* Trabajo de grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal, Director: Rubén Carvajal, MSc. Codirector: Diego Suescún MSc.

Abstract

Title: Evaluation of the establishment and growth of a *Eucalyptus globulus* Labill. Plantation, under edaphoclimatic conditions of the high Andean ecosystem

Author: Laura Tatiana Silva Camacho **

Keywords: Edaphoclimatic conditions, *E. globulus*, Dasometry, Morphology, silvicultural work

Descripción:

The establishment of forest plantations with *E. globulus* does not replace natural forests in some of their functions, but they are a technically, environmentally, and economically sustainable alternative, where raw materials are generated and degraded soils or soils of little productive use are reincorporated. Aspect for which interest was generated from the forestry sector to establish an *E. globulus* plantation in the La Cuadra farm located in the municipality of Malaga at 1.585 m s.n.m., where 0,68 ha were incorporated to carry out the evaluation of the establishment of the plantation under edaphoclimatic conditions of high Andean ecosystem. The plant material collected was from a forest of *E. globulus* with similar environmental conditions to the planting site, germinating the seeds in the nursery, there the seedlings reached heights of 30 to 35 cm in 60 days, obtaining an appropriate size to be taken to field, where 420 trees were established in 5 lots planted under the three bolillos method, after the preparation of the land. For this purpose, the description of the plantation was made, determining edaphoclimatic characteristics, dasometric and morphological variables and management of silvicultural work. For the determination of the edaphic variables, 3 pits were elaborated facilitating the observation and evaluation of the soil profile, as for the dasometric variables, the tukey test was performed in the R-Projet software, which showed that there were no significant differences ($P < 0.05$) between batches, finding maximum heights of 3,93 m and a diameter at 20 cm from the ground of 4,14 cm at 11 months, carrying out the silvicultural work afterwards for its development

* Bachelor Thesis

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal, Director: Rubén Carvajal, Ingeniero Agrónomo Codirector: Diego Suescún MSc.

Introducción

La industria forestal es un actor económico relevante a nivel mundial y nacional (Fuentealba, 2019), donde las plantaciones forestales, han venido experimentado el uso de la silvicultura de una forma intensiva que cada vez va en aumento, con el uso de la tecnología posible, dentro de un margen económico aceptable seleccionando especies y plantas de alta calidad genética, con una adecuada preparación del suelo y el uso de fertilizantes y control de malezas, con el fin de obtener una mayor rentabilidad (Martínez et al., 2006).

Los bosques andinos a través del tiempo han enfrentado constantes degradaciones debido a las presiones antrópicas (Aguirre et al., 2019), y es allí la importancia de la reforestación de especies nativas o de rápido crecimiento. Tal es el caso del *Eucalyptus globulus* Labill., especie que se prefiere en Colombia, por su alta capacidad productiva el cual prospera en terrenos forestales degradados o inutilizados, desarrollándose en condiciones edafoclimáticas diversas (Gualpa et al., 2016).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) afirma que, debido a la herencia transmitida por sus predecesores y el curso de la evolución en los recientes milenios, los *Eucalyptus* han desarrollado características de crecimiento que han hecho de ellos un factor fundamental para la perpetuación de un recurso forestal sometido a las difíciles condiciones ambientales (Guerra, 2012), donde su producción ha ido mejorando y evolucionando con nuevos métodos tecnológicos, permitiendo obtener resultados excelentes y evitando pérdidas en su producción (Arauz, 2019)

Con base a lo anterior, y sumada la falta de información en la zona de estudio sobre el comportamiento y desarrollo de la especie forestal *E. globulus*, esta investigación buscó generar material y datos sobre el establecimiento, crecimiento y desarrollo de la plantación

de dicha especie, bajo condiciones edafoclimáticas del bosque humedo montano bajo (bh-MB). Además, de ser una alternativa para aumentar no solo los bosques si no las plantaciones de especies que sean importantes para disminuir las franjas deforestadas y aumentar así modelos de desarrollo empresarial que ayuden a la economía, proporcionando fuentes de empleo por su uso como madera y derivados (Varela y Bedoya, 2006; Espinales, 2019).

1 Objetivos

1.1 Objetivo general.

Estimar el crecimiento y desarrollo de la plantación de *Eucalyptus globulus* Labill.
en la finca la cuadra, vereda San Luis Málaga Santander

1.2 Objetivos específicos

Caracterizar las condiciones edafoclimáticas del área de estudio

Evaluar el componente morfológico y fisiológico de la especie

Establecer labores silviculturales necesarias para el desarrollo de la plantación

2 Marco Referencial

2.1 Antecedentes

Guallpa et al., (2016) en su trabajo sobre caracterización edáfica y dasométrica de una plantación de *E. globulus* y propuesta de manejo en la zona estepa espinosa Montano Bajo, en Riobamba, Ecuador, afirman que existe escasa información sobre el crecimiento y rendimiento de los árboles de la plantación de *E. globulus* en la hacienda Tunshi-ESPOCH en condiciones variables de fisiografía, propiedades edáficas y manejo; por esta razón se decidió evaluar su masa forestal. Donde instalaron parcelas circulares de 12,62 m de radio a una intensidad de 5-6% ha. Mediante el muestreo sistemático no alineado para el levantamiento de información dasométrica y la excavación de tres calicatas, donde se aplicó muestreo estratificado para las variables del sitio. La aplicación de estimadores estadísticos, determinó que a una altitud de 2.755 m s. n. m. el volumen total promedio árbol estimado de 2,32 m³ en comparación con el 0,25 m³ a una altitud de 2.929 m s. n. m. Para lo cual se definieron dos áreas una de conservación y otra de aprovechamiento forestal. Se encontró que existen asociaciones significativas entre el volumen total unitario de *E. globulus* frente a la altitud, al contenido de materia orgánica, a la capacidad de intercambio catiónico a nivel superficial y el nivel de boro a nivel subyacente, generándose una estrategia de manejo para cada área delimitada.

En un segundo trabajo realizado por Herrera (2019), sobre la evaluación del desarrollo inicial de *E. globulus* y *E. grandis*, bajo un diseño de espaciamiento circular de tipo Nelder bajo ocho densidades de la plantación en el municipio de Málaga, Santander. Donde es importante mencionar que la implementación de plantaciones bioenergéticas de forma sostenible es una necesidad para las zonas rurales, cuyo objetivo de la investigación

apuntaba a evaluar el desarrollo inicial durante 8 meses de establecidas en la finca de la Universidad Industrial de Santander, sede Málaga. Para evaluar variables dasométricas se realizó el test de Tukey en el software R- Project, el cual mostro que el *E. grandis* presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las densidades de 2,500 y 15,000 árboles por hectárea, altura total y diámetro a la altura del cuello.

De acuerdo con Salamanca y Ortiz (2018), en su trabajo de investigación desarrollado en el municipio de Málaga Santander, evaluaron la extracción de nutrientes y parámetros productivos de *E. globulus* bajo diferentes niveles de fertilización en la zona de vida bosque muy húmedo montano bmh-M, se afirma que la etapa de establecimiento es determinante para el desarrollo de una plantación forestal, tiempo en el cual se determina la vitalidad futura de los individuos, por ello, la importancia de una fertilización adecuada que garantice altos parámetros productivos al final de la fase de establecimiento. Para el estudio se llevó a cabo un diseño de bloques completos al azar basado en una fertilización con 50% y otra con fertilización 100% a partir del análisis de suelos inicial, con el objetivo de determinar la extracción de nutrientes y variables dasométricas durante la etapa de establecimiento de una plantación de *E. globulus* establecida en predios de la Universidad Industrial de Santander. La fertilización se realizó con base en un análisis inicial de extracción de nutrientes y la interpretación de análisis de suelos. Los resultados de la extracción de nutrientes final indican que las cantidades de N, P, K, Zn y Mn fueron mayores para el tratamiento +100 y para los elementos Ca, Mg, Na y B las mayores cantidades se encontraron en el tratamiento con fertilización +50. Además, se realizó un test de rangos múltiples de Duncan con el software InfoStat, el cual mostró que se presentaban diferencias significativas superiores al 5% entre tratamientos para todos los elementos. La variable dasométrica que presentó diferencia

significativa ($P < 0.05$) con el test de rangos múltiples de Duncan fue altura de copa y las variables altura total, diámetro base, diámetro copa, número de hojas y número de ramas presentaron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y el no fertilizado. La eficiencia agronómica para los elementos N, P y K indican que los mayores valores se presentaron en el tratamiento +100.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 *Eucalyptus globulus Labill.*

El eucalipto es un árbol que tiene la capacidad de crecer muy rápido, alcanzando grandes dimensiones alturas de 45 a 60 m y en sitios óptimos de hasta 75 m, debido a que las raíces absorben gran cantidad de agua, su fuste es recto hasta unos dos tercios de la altura total y presenta una copa bien desarrollada, su corteza es blanquecina, gris-azulada o verdosa y es muy característica su facilidad para desprenderse del tronco. Las hojas juveniles son ovadalanceoladas, sésiles, de tonos verdes y glaucos, las adultas son lanceolado-falciformes, con largos peciolos y de color verde oscuro y son empleadas para a extracción de aceites esenciales para usos medicinales, sus flores son de color blanco y su fruto se encuentra en forma de botón. El eucalipto también en la actualidad es una gran fuente de ingresos económicos ya que de este se obtiene madera, papel, es usado en industria maderera (Ovalle, 2010; Ticona, 2012; García, 2015).

2.2.2 *Impacto de las plantaciones de eucalipto*

El impacto del eucalipto en el medio ambiente puede variar mucho según la especie utilizada, las condiciones climáticas y el tipo de suelo, pero, sobre todo, lo que más afecta es la gestión que se realiza por parte de las administraciones públicas de las plantaciones. Así,

el factor empresarial y la falta de formación, sensibilidad, inversión económica o maquinaria adecuada hace que se aleje mucho lo que se debería hacer.

Los impactos más agresivos tienen que ver con la práctica diaria y con los modelos de gestión y el dominio de esta especie se produce en muchas ocasiones por la falta de ordenación territorial o su incorrecta aplicación. Por tanto, se considera que el eucalipto no es un problema en sí mismo, sino que tiene un peso enormemente significativo sobre el producto interno bruto (PIB) y es una importante fuente de renta de numerosos inversores forestales. El problema descansa en la ordenación que se hace de la especie y en las forestaciones descontroladas de eucaliptos en las producciones particulares, donde su objetivo es el de supervisar las plantaciones existentes para que no sea necesaria la prohibición de esta especie (Ortego,2019).

2.2.4 Modelos forestales de crecimiento

Los modelos forestales son expresiones matemáticas usadas para prever el crecimiento y la producción de sistemas forestales (árboles individuales, rodales, montes, etc.), los modelos forestales de crecimiento suelen comprender los cambios en el crecimiento, la mortalidad y la estructura de la masa, elementos que se enuncian de manera numérica. El origen de los modelos forestales se remonta a las primeras tablas de producción, elaboradas por Paulsen y que han evolucionado hasta los actuales modelos dinámicos. Dichas tablas son cuadros numéricos que tratan de mostrar la evolución en el tiempo de las variables de un rodal forestal regular o coetáneo, en un ámbito geográfico determinado, para las distintas clases de calidad de estación y las diferentes intervenciones. Si bien en las masas de eucalipto no se realizan intervenciones sobre la densidad y, por tanto, unas tablas de producción de existencias normales o de selvicultura media (modelos estáticos) podrían describir de una

forma aceptable su evolución, los modelos dinámicos son más indicativos de la relación causa-efecto entre la densidad del rodal en un momento concreto y la evolución de las variables que definen dicho rodal (área basimétrica, volumen o mortalidad, entre otros) (Guallpa, 2016).

2.2.6 Manejo silvicultural y forestal del *Eucalyptus globulus*

Autores como Sotomayor et al, (2002) argumentan que el manejo forestal tiene como objetivo el de acelerar la dinámica de crecimiento natural del bosque, donde los tratamientos silviculturales, como son raleos, podas, concentrar el crecimiento del rodal en los mejores árboles, donde aumentan sus diámetros (volumen por árbol) y así mejorar la calidad de la madera, donde la adecuada preparación del terreno, cultivo del suelo, espaciamiento entre plantas, control de malezas y fertilización, facilitara que cada planta exprese precozmente y mejor su potencial de desarrollo. Para una adecuada planificación de las faenas de poda y raleo, es conveniente contar con un inventario de la plantación que contenga al menos información de densidad, calidad de los árboles, y parámetros como diámetro a la altura del pecho, altura y área basal, e idealmente una simulación de su crecimiento.

La silvicultura específica al sitio se desarrolla con características determinadas, donde se aplican técnicas silvícolas que reducen ampliamente las resistencias ambientales, que aportan y redistribuyen los recursos necesarios (el agua, nutrientes y radiación), para que las plantaciones amplíen su productividad y sean eficientes en costos y por tanto rentables (Ticona, 2012)

2.3 Marco Conceptual

Estructura del suelo. Es la capacidad que tiene el suelo de descomponerse bajo

condiciones naturales en agregados de diferentes tamaños y formas. A los agregados se les conoce como peds. La distribución mutua en el suelo de agregados estructurales con determinada forma y tamaño se llama estructura del suelo. Si el suelo no se descompone en agregados naturales independientes, y tiene una situación de arena movediza como arena o el polvo, entonces se llama sin estructura, si el suelo se rompe en grandes bloques, entonces puede nombrarse masivo sin estructura. De esta forma, las concepciones genético-morfológicas y agro física de suelos son estructura y sin estructura son diferentes y no deben confundirse (Hernández et al., 2010).

pH del suelo. El potencial de hidrógeno determina el grado de adsorción de iones hidrogeno por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido, neutro o alcalino. Indicador principal de disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes, como también contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO, 2015).

El color del suelo. Aspecto que depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo. Usadas para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de material parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato (FAO, 2015).

Factores formadores de suelo. En general, “un factor formador del suelo es cualquier agente, fuerza, condición, relación o combinación de ellas; que influye, ha influido o puede influir sobre el material originario del suelo, con potencialidad para alterarlo”; actualmente se considera cinco de los principales factores en la formación del suelo (Badía

et al., 2013 citado en Pérez, 2017).

Morfología del suelo. La formación del suelo es el desarrollo natural de los horizontes. El estudio de la forma y naturaleza del perfil del suelo y sus horizontes se conoce como morfología del suelo. La mayoría de los horizontes se notan porque difieren de las otras capas del suelo en contenido de arcilla, color, cantidad de materia orgánica y en las clases y cantidades de sales (Pérez, 2017)

Evaluación de plantaciones forestales La evaluación de una plantación consiste en aplicar cierta técnica para recopilar información de alguna o algunas características particulares requeridas, para la elaboración de un plan eficiente de acciones a llevar a cabo en la masa arbolada, tanto en el manejo y administración de la misma, independientemente de que se cuente con guías bien definidas sobre su manejo de plantaciones establecidas en condiciones similares (Gualpa, 2016)

Plan de manejo forestal. Conjunto de normas técnicas que regularán las acciones por ejecutar en un bosque o plantación forestal, en un predio o parte de este con el fin de aprovechar, conservar y desarrollar la vegetación arbórea que exista o se pretenda establecer, de acuerdo con el principio del uso racional de los recursos naturales renovables que garantizan la sostenibilidad del recurso (MAE., 2010).

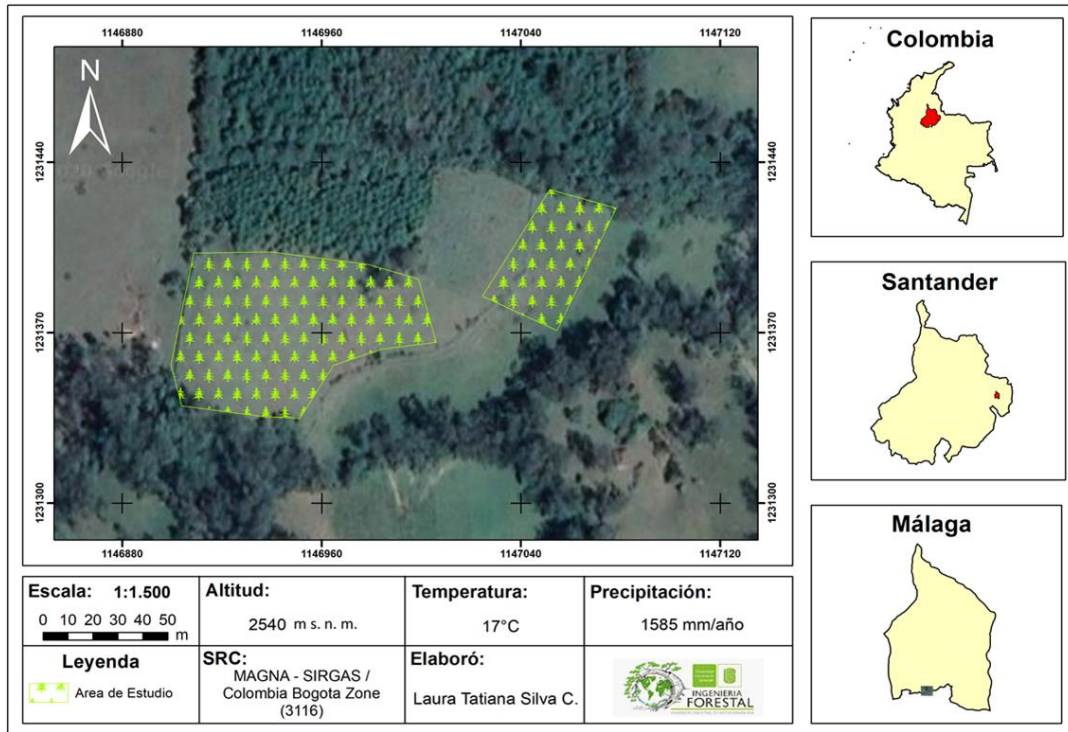
3. Proceso metodológico

3.1 Metodología

El estudio se desarrolló bajo una investigación de tipo descriptiva y propositiva, a través de métodos cuantitativos, cualitativos y proceso de observación sistemática.

3.2 Localización

La investigación se llevó a cabo en la finca la Cuadra ubicada en la vereda San Luis del municipio de Málaga, donde se estableció una plantación forestal con *E. globulus*, el área de estudio se encuentra ubicado en la zona de vida según la clasificación de Holdridge a bosque húmedo montano bajo (bh-MB) con una altitud de 2.540 m s. n. m., y coordenadas N: 6°41'16,23'', O: 72°44'43,50''. Presenta un rango temperatura de 12 a 18°C, con precipitación promedio anual de 1.585 mm/año según reportes suministrados del IGAC, dicha plantación se estableció en un área de 0,68 ha, localizada a una distancia aproximada de 6,5 km del casco urbano (Figura 1).

Figura 1.*Localización del área de estudio*

3.3 Duración del estudio.

El trabajo de investigación se desarrolló en un periodo de 15 meses consecutivos, iniciando en el mes de febrero de 2019 con la recolección de semilla y finalizando en el mes de mayo del año 2020, tiempo en el cual se ejecutó cada una de las actividades propuestas para el desarrollo del estudio

3.4 Material vegetal

El material vegetal proviene de una plantación natural de *E. globulus*, ubicada en la parte alta de la vereda yerbabuena del municipio de San José de Miranda a una altura que oscila entre los 2.500 y 3.000 m s. n. m.

3.5 Descripción de las condiciones edafológicas del sitio de la plantación de *Eucalyptus globulus*

Para la descripción de las condiciones edafológicas se detallarán las siete etapas que lo conforman: tipos de suelo, clases agrológicas, cobertura vegetal, uso potencial del suelo, perfil del suelo (horizontes), propiedades físicas y químicas.

Para la cartografía elaborada se partió de la información obtenida de la plataforma del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y se ingresó a datos abiertos para descargar los shapefile tipo de suelo, clases agrológicas, uso potencial del suelo y división política de Colombia. En el software ArcGIS 10.3 se estableció el sistema de coordenadas desde la caja de herramientas ArcToolbox opción Projec y se seleccionó el sistema MAGNA-SIRGA/ Colombia Bogotá Zone (3116) para los shapefiles, adicional se realizó el filtro para el polígono de Málaga, alterno en Google Eart se ubicó las coordenadas del sitio de la plantación descargando la imagen en formato KML la cual se incorpora en ArcGIS y se localiza el área de estudio para obtener el shapefile, el cual se adecua y así finalmente obtener el mapa según corresponda la información.

3.5.1 Tipo de suelo

Para la descripción de los tipos de suelo se implementó la metodología de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002), adicional se ingresó a la aplicación de datos abiertos en la plataforma del IGAC y se descargaron los shapefile correspondiente a tipo de suelo y shapefile del municipio, para luego sobreponerlos en el programa de ArcGis 10.3 y de esta manera lograr la respectiva georreferenciación de los diferentes tipos de suelo.

3.5.2 Clases agrológicas del suelo

Este sistema de clasificación se realizó con base a la metodología de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002), usando las unidades de mapeo de suelo para el sitio de estudio según clases, subclases y fases de manejo, las cuales se ingresaron al programa ArcGis 10.3 5 para determinar la clasificación para el lugar de la plantación.

3.5.3 Cobertura vegetal

En esta etapa se utilizó la metodología de Corine Land Cover adaptada para Colombia (2010), por medio de la cartografía propia para el sitio de estudio y sobre puesta en el mapa base cuya fuente es el IGAC, estas herramientas deben estar bajo el mismo sistema de coordenadas de proyección, facilitando la interpretación y manejo en el programa ArcGis 10.3

3.5.4 Uso potencial del suelo

A través de la cartográfica obtenida del IGAC y la comparación de los shapefile se obtuvo la información real, aplicando la metodología de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002).

3.5.5. Perfil del suelo

Para su detallada descripción cualitativa y cuantitativa a través de la observación y clasificación de la información se apoyó de la metodología propuesta por Jaramillo (2002), el uso de claves para la taxonomía de suelos propuesta por el Servicio de conservación de Recursos Naturales (NRCS) y metodología de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002), cabe mencionar que para el correcto desarrollo de

esta etapa se realizaron cinco actividades:

- En la plantación se seleccionaron tres puntos ubicados al azar estratégicamente
- Se elaboraron tres calicatas cuya dimensión es de 1 x 1 m
- Se procedió a realizar la excavación de 1 metro
- Se colocó cinta a lo largo del perfil del suelo
- Se determinaron las variables:

3.5.5.1 Horizontes diagnósticos. Con ayuda de las calicatas realizadas, el suelo queda expuesto para realizar la observación del solum (horizontes A y B) donde se detalla cada uno de los horizontes para identificar sus características morfológicas macroscópicas que presenta el perfil basados en las Claves para la Taxonomía de Suelos (USDA, 2014)

3.5.5.2 Color. Variable que se describe y clasifica por observación tomando como referente la tabla de Munsell (2015)

3.5.5.3 Estructura del suelo. Se determinó con la observación y toma de datos correspondientes a tipo, tamaño, y grado de las unidades estructurales del suelo para cada horizonte apoyado de fotografías expuestas en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo (1999)

3.5.5.4 Observación de los agregados con ayuda del estereoscopio. Se observó con ayuda de imágenes tomadas a través del estereoscopio a muestras de suelo pertenecientes a cada horizonte y fueron comparadas con medidas expuestas por Jaramillo (2002).

3.5.5.5. Raíces. Se determinó a través de la observación del corte transversal, donde

se midió y registró su tamaño, hasta encontrar aquellos obstáculos físicos, dando una calificación cualitativa según la metodología de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002).

3.5.5.6 Profundidad efectiva del suelo. Se determinó a través de la observación de la calicata, y se realizó una calificación cualitativa con ayuda de la metodología de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002).

3.5.5.7 Temperatura edáfica. Se halló el contenido volumétrico hídrico (cm^3), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$), en tres momentos del día, usando un sensor GS3.

3.5.5.8 Pedregosidad. Se determinó por medio de observación, para lo cual se midió y registró abundancia y tamaño de las rocas a partir de la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos.

3.5.5.9 Drenaje del suelo. Se realizaron tres hoyos los cuales se les agregó agua, para lo cual se midió el tiempo en que cada muestra demora en drenar, este proceso se efectuó por dos días consecutivos en época de verano.

3.5.6 Propiedades químicas del suelo.

Las propiedades químicas del suelo se determinaron a partir del análisis de suelo (macronutrientes y micronutrientes), además se determinó el pH se determinó en los horizontes por medio de un medidor multiparamétrico.

3.6 Descripción de las condiciones climáticas del área de estudio

Alternó a las características del suelo se describieron las variables climáticas como

precipitación, temperatura y humedad relativa, basados en los registros de la estación pluviométrica ubicada en el municipio de Málaga a 2.197 m s. n. m., instalada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (IDEAM), estudios realizados en la zona y la metodología propuesta por Boshell para cálculo temperatura de acuerdo a la altitud, donde dichos datos se recopilan para generar la información necesaria en el estudio la cual se representa por medio de tablas y gráficas.

3.7 Descripción de las variables dasométricas

Se tomaron datos en vivero y campo como se describen a continuación

3.7.1 En vivero

Al finalizar la etapa de vivero se realizó la toma de la altura utilizando cinta métrica, donde solo se midió el 20% de las plántulas.

3.7.2 En Campo

En esta etapa se dividió el área de estudio en cinco lotes, para lo cual se seleccionaron 14 árboles testigos por lote, los cuales se demarcaron con una cinta azul, cada árbol testigo se describió de manera general a partir del estado de las plántulas de *E. globulus*. Para las variables diámetro y altura se utilizó cinta métrica y pie de rey, registrando la primera toma el día 18 de junio de 2019 y se finalizaron las mediciones en el mes de abril del 2020.

Descripción de variables morfológicas: a nivel del área de estudio se seleccionaron tres plantas al azar y se utilizó el cálculo de las siguientes variables: peso fresco, con ayuda de la balanza analítica se calculó el peso de las partes del árbol (hojas, ramas y tallos), se realizó esta labor tres veces durante el estudio con rangos de dos meses cada toma.

Peso seco: se llevaron al horno las muestras frescas y se pesaron posterior a su secado.

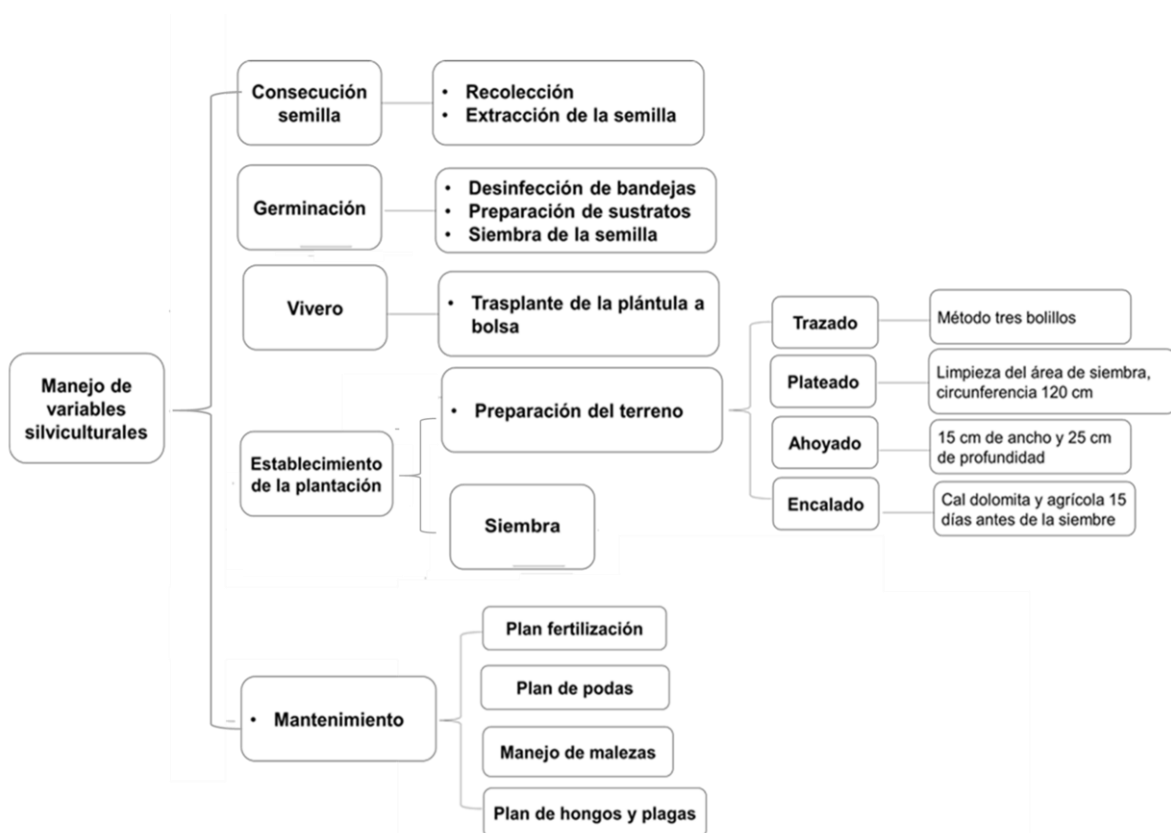
Área foliar: se desplegaron las hojas de cada árbol sobre hojas blancas de tamaño oficio respectivamente foliadas, para facilitar la observación de la forma y tamaño de cada una hoja de *E. globulus*, para posterior fotografiar cada hoja foliada, donde dichas imágenes se subían al software Image J, y por medio de este programa se calculó el área foliar de cada árbol.

3.8 Manejo de las labores silviculturales

Las labores silviculturales se definieron de acuerdo a las siguientes fases (Figura 2)

Figura 2.

Manejo de las variables para el estudio



4. Resultados y Discusión

4.1 Descripción de las condiciones edafológicas del sitio de la plantación de *Eucalyptus globulus*

4.1.1 Tipo de suelos

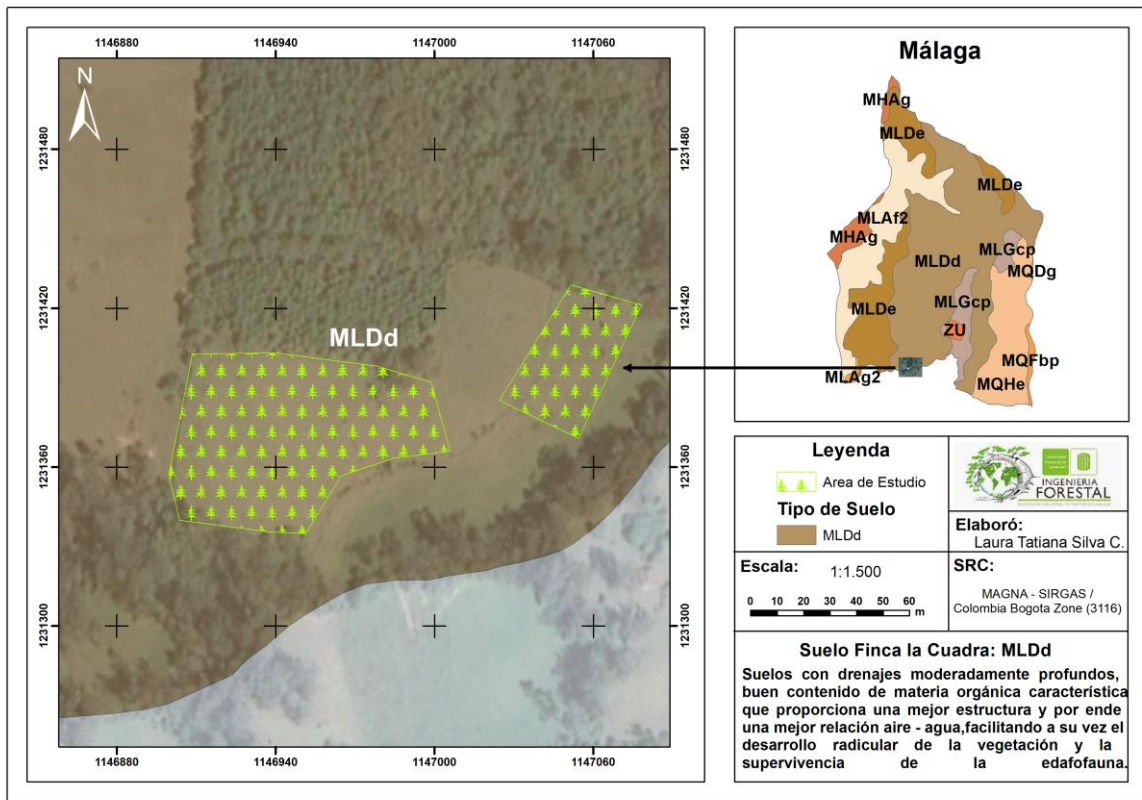
La unidad cartográfica de la plantación pertenece a paisaje de montaña, donde las principales características del suelo corresponden a relieves ondulados y/o quebrados con pendientes que oscilan entre 12, 25 y 50%, y presenta clima frío húmedo y muy húmedo, correspondientes a las zonas de vida de Bosque húmedo y muy húmedo montano bajo (bh-MB y bmh-MB), su litología comprende cenizas alteradas depositadas sobre areniscas y por arcillolitas sectorizadas. Con texturas franca, franco arcillosas y franco arcillo arenosas, dando lugar a determinadas propiedades físicas, dichas características se basan en la observación y el manual de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002) adicional afirma que este tipo suelos presenta saturación de aluminio mayor del 65%, donde autores como Romero et al, (1993) argumentan que elevados porcentajes de aluminio intercambiable tiene efectos en los procesos químicos generados en el suelo y en las fracciones coloidales, por lo que las especies vegetales sensibles al aluminio pueden presentar problemas de desarrollo y utilización de nutrientes, en especial P y Ca. Pathauer, (2005), menciona que el *E. globulus* requiere para un normal desarrollo suelos profundos, bien drenados, no salinos ni alcalinos, de textura franco arenosa a franco arcillosa (Ezequiel, 2015)

Con base a lo anterior la unidad fisiográfica en estudio pertenece a la Consociación Andic Humitropepts (MLDd). (Figura 3). Este tipo de suelos se caracterizan por poseer tres

perfiles u horizontes de tipo A, B y C, con drenaje muy lentos suelos moderadamente profundos (25-50 cm), suelos ácidos, baja fertilidad y erosión moderada localizada, encontrando presencia de edafofauna.

Figura 3.

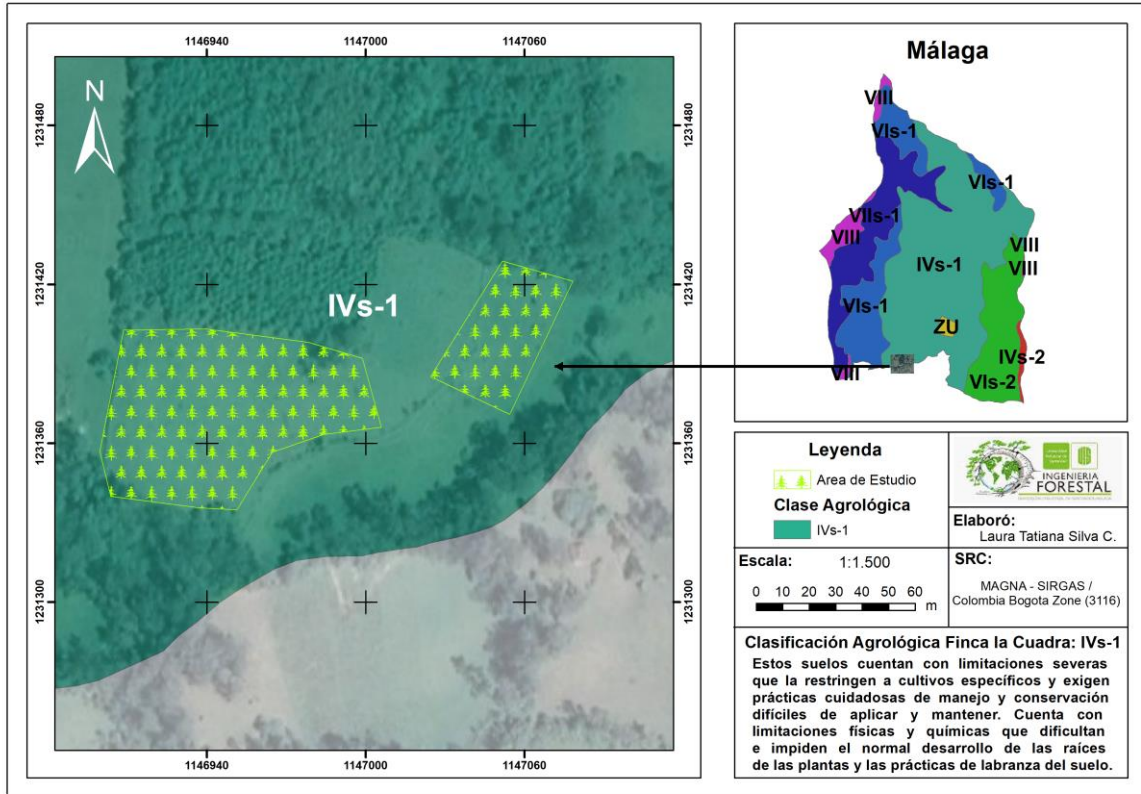
Tipo de suelo del sitio de la plantación de Eucalyptus globulus



4.1.2 Clases agrológicas

El sistema de clasificación agrológica encontró para el estudio que el suelo pertenece a las tierras de clase IV, donde el estudio de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002) sustenta que esta clase de suelo es capaz de producir cultivos bajo adecuadas condiciones de manejo, las cuales requieren de prácticas encaminadas a la protección de suelos mediante sistemas de manejo como siembras en

contorno, cultivos de semibosque, aplicación de fertilizantes y correctivos que busquen su protección y conservación, donde la agroforestería es una opción apropiada para sectores de pendientes pronunciadas, áreas erodadas y susceptibles al deterioro, este agrupamiento agrologico incluye la subclase por limitación de suelos (IVs), donde valores de 12% de gradiente es el punto crítico para la mecanización, aumentando la susceptibilidad del suelo a la erosión, factor decisivo para el uso del suelo y su manejo. (Figura 4). La organización de los estados americanos (OEA), aseguran que las limitaciones por condición de suelo "s", están principalmente relacionadas con las características edáficas, como textura, estructura, compactación del perfil, profundidad, gravosidad, pedregosidad, rocosidad, características químicas, entre otras, de ahí la importancia del establecimiento de especies como el eucalipto, el cual protege los suelos contra procesos erosivos aumentando la tasa de infiltración de las aguas pluviales, como asegura Hernández (2012), donde las plantaciones de Eucalipto han mostrado efectos benéficos sobre las propiedades del suelo como la estructura, la capacidad de almacenamiento de agua, el drenaje y la aireación.

Figura 4.*Clasificación agrológica del sitio de la plantación*

4.1.3 Cobertura Vegetal

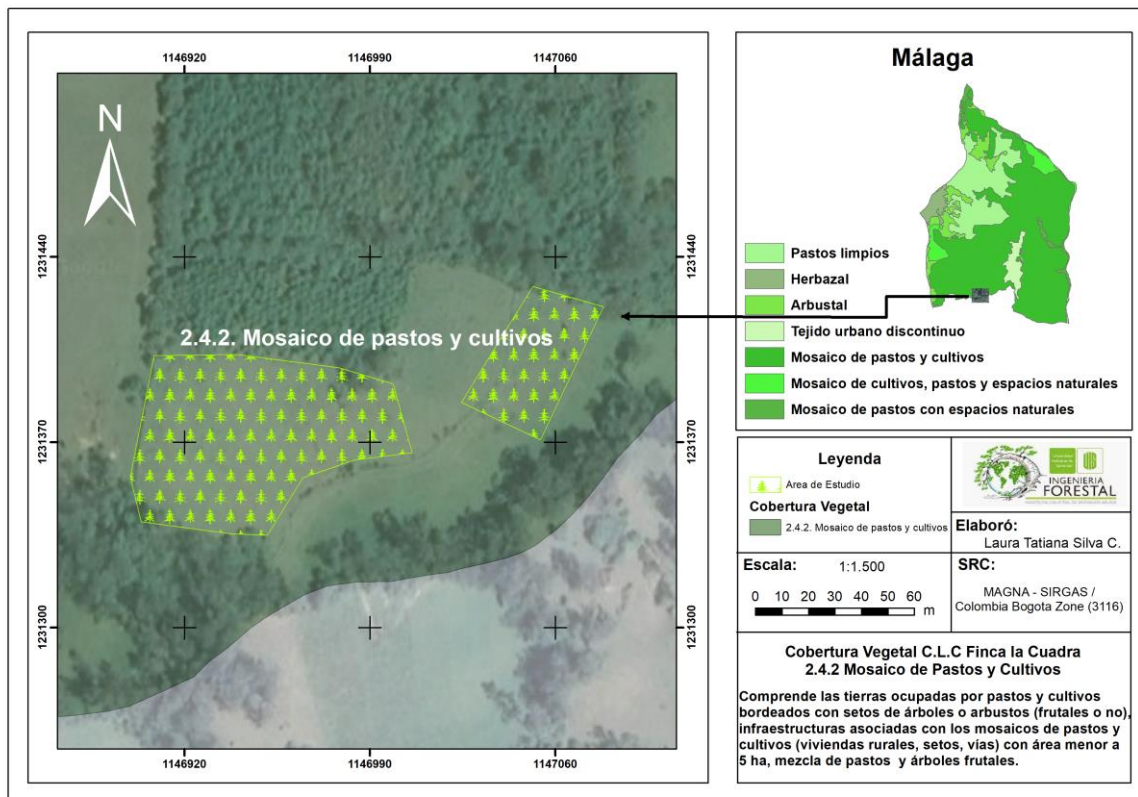
El sitio presenta una cobertura catalogada mosaico de pastos y cultivos según la clasificación de Corine Land Cover adaptada para Colombia (2010). En la figura 5 se observa con el numeral 2.4.2 cuya cobertura comprende tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual.

De ahí la importancia de establecer una plantación forestal, que para el caso se implementó *E. globulus*, el cual responde de manera positiva en la recuperación de la

cobertura vegetal e hidrológicamente ya que se recuperan ciertas propiedades, Hernández (2012), además ratifica que las plantaciones de Eucaliptos pueden estimular la regeneración forestal mejorando el microclima, el contenido de carbono orgánico del suelo que atraen a especies animales que dispersan semillas, donde estas especies forestales aprovechan el agua con eficacia, para producir más biomasa y madera con respecto a otras especies con relación a la cantidad agua que consumen y finalmente pueden contribuir a promover la restauración de biodiversidad nativa en áreas degradadas.

Figura 5.

Cobertura vegetal del sitio de estudio

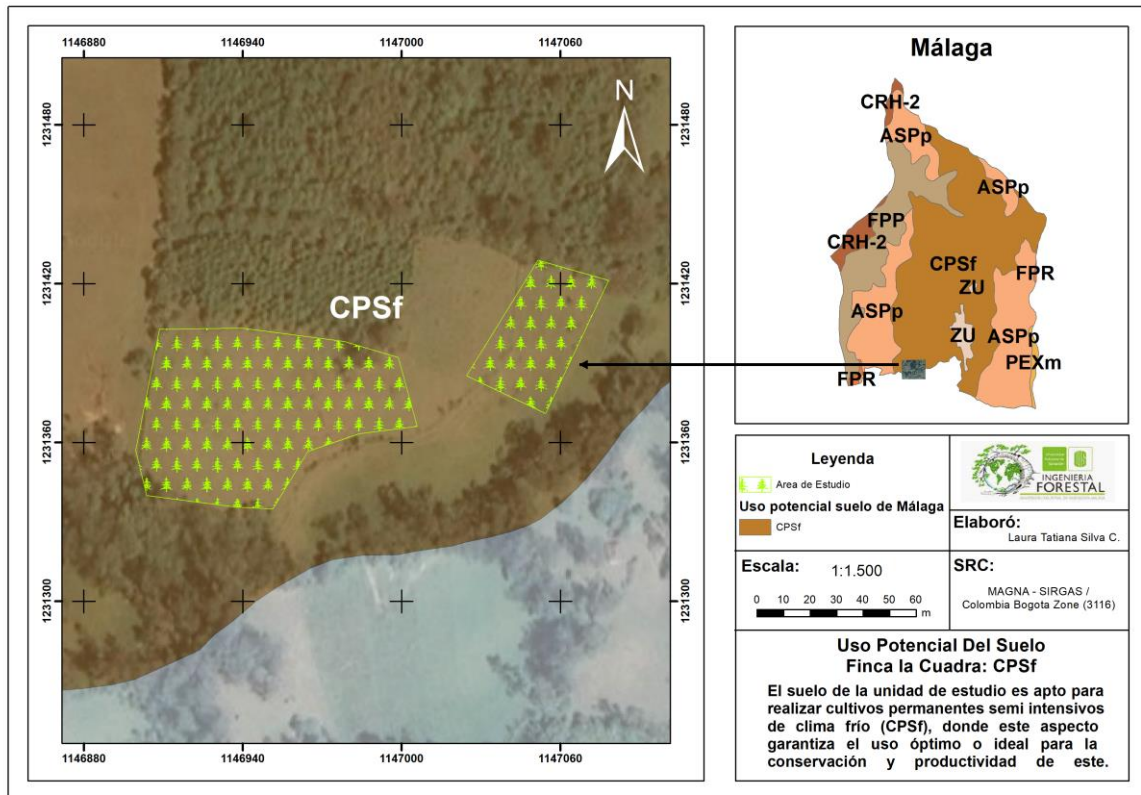


4.1.4 Uso potencial del suelo

Por lo que se refiere al uso potencial de las tierras, se tuvo en cuenta aspectos como clase agrológica, pendiente, formación vegetal, entre otras apoyado del manual de zonificación de suelos del departamento de Santander propuesta por IGAC (2002), donde la intercepción de cada uno de estos aspectos facilito caracterizar el uso óptimo o ideal del suelo, encontrando para la zona de estudio un uso potencial de cultivos permanentes semi intensivos de clima frio (CPSf), aspecto que garantiza el uso óptimo para la conservación y productividad (Figura 6), donde autores como Hernández (2012) indican que los eucaliptos se han promovidos ampliamente para la reforestación a nivel mundial de terrenos vacíos, a causa de su rápido crecimiento y su tolerancia para desarrollarse en suelos pobres; adicional se han empleado como bosques energéticos y para el control de la erosión, otra ventaja es su baja palatabilidad para el ganado, y por consiguiente tienen más probabilidad de supervivencia en terrenos degradados por el sobrepastoreo. Sus efectos en estas situaciones son, en consecuencia, de un alto valor ecológico.

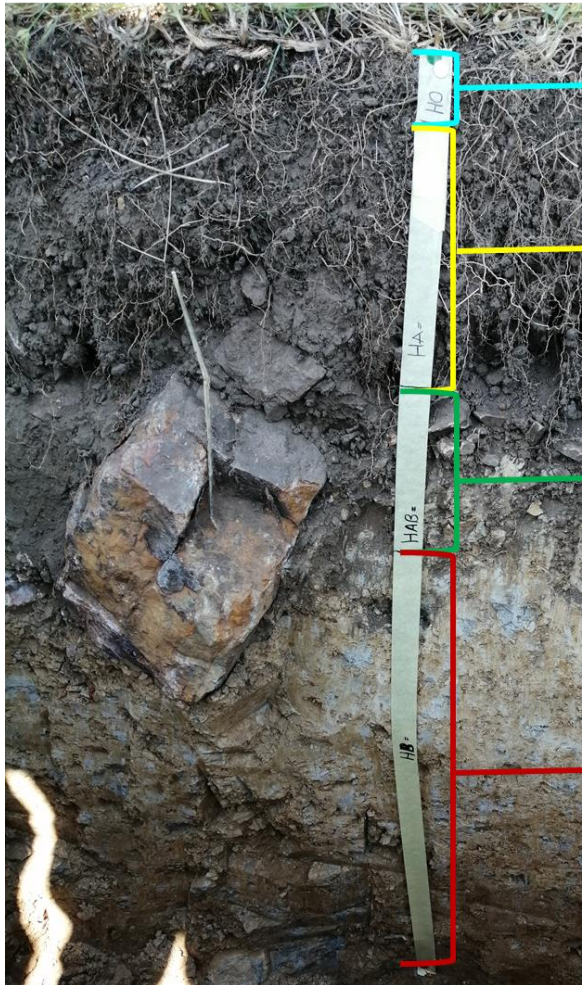
Figura 6.

Uso potencial del suelo del sitio de estudio.



4.1.5 Perfil del suelo

A través del corte vertical del suelo se logró diferenciar los horizontes de cada una de las calicatas ubicadas estratégicamente basados en la cobertura vegetal y pendiente; cuando estas capas se diferencian entre sí, acorde con sus características son el resultado de la pedogénesis para lo cual recibe el nombre de horizontes del suelo, como se muestra en las siguientes Figuras 7, 8 y 9.

Figura 7.*Horizontes de la calicata 1.***HORIZONTES**

Oe: residuos orgánicos moderadamente descompuestos (6cm)

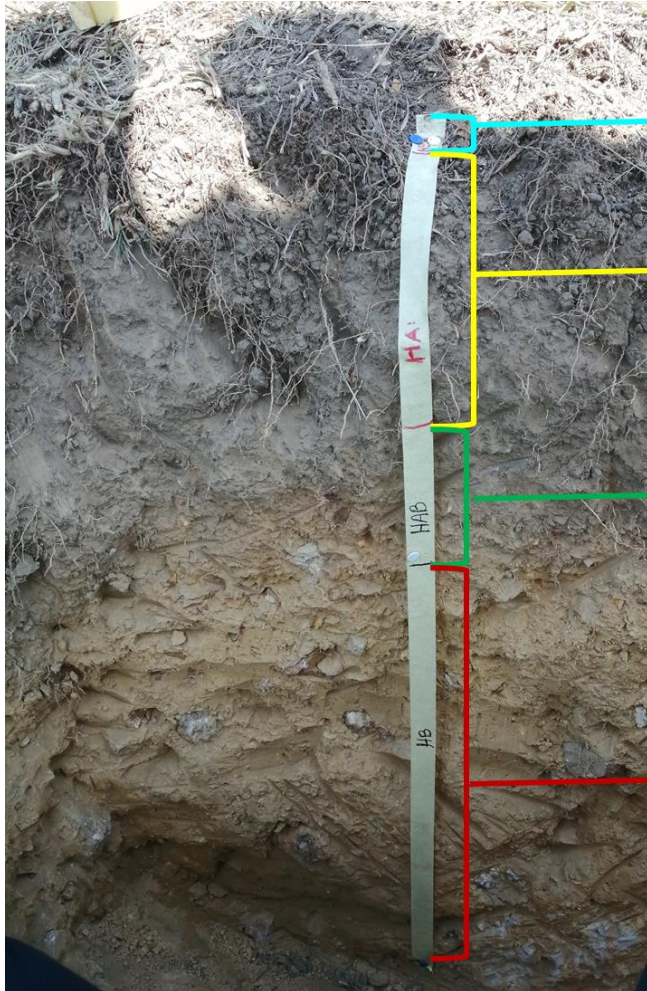
Ah: oscuro, acumulación de materia orgánica, buen desarrollo estructural, pH bajo, (18cm)

ABwr: horizonte que presenta cambio de color con respecto a los subprayerentes (w), encontrando roca meteorizada restrictiva para la raíz (r)(14cm)

Bwd: desarrollo de color y/o estructura (w), restricción física a la raíz (62cm)

Figura 8.

Horizontes presentes en la calicata 2



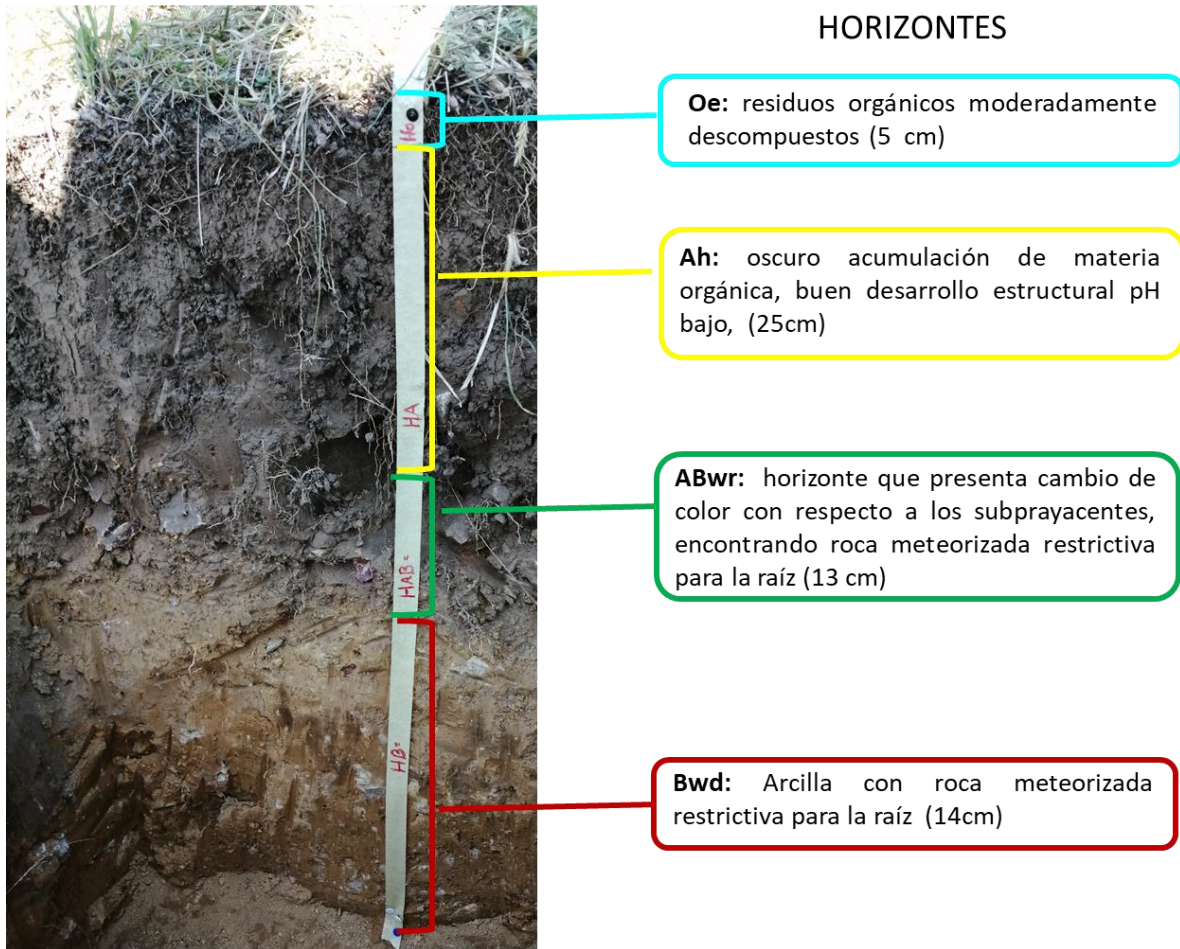
HORIZONTES

Oe: residuos orgánicos moderadamente descompuestos (8 cm)

Ah: oscuro, acumulación de materia orgánica, buen desarrollo estructural, pH bajo, (22cm)

ABwr: horizonte que presenta cambio de color con respecto a los subpryacantes (w), encontrando roca meteorizada restrictiva para la raíz(r) (13 cm)

Bwd: horizonte con desarrollo de color y estructura, restrictiva para la raíz(d) (14cm)

Figura 9.*Horizontes presentes en la calicata 3*

Como se observa en las figuras (7, 8 y 9), las tres calicatas presentan similitud en la clasificación de sus horizontes con proporciones heterogéneas, donde el Horizonte O es la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, la letra A corresponden al horizonte mineral, el horizonte AB o transicional donde ocurre el cambio de color y estructura, por último, el horizonte B el cual presenta un cambio brusco de color y estructura con presencia de roca meteorizada. Domingo (2010) afirma que la disminución del contenido en materia orgánica del horizonte superficial se considera una causa de degradación del suelo y está

vinculada la pérdida de fertilidad y al aumento de la erosividad, lo que significa que el suelo de la plantación es pobre, por otra parte, las hojas de los eucaliptos forman humus mull ligeramente ácido que, dentro de los suelos ácidos como el del estudio, puede ser considerada como materia orgánica humificada de la mejor calidad (FAO, s.f.; Domingo 2010)

4.1.6 Textura

Se describió la textura correspondiente a cada horizonte presente en cada una de las calicatas objeto de estudio, aclarando que la textura determinada al tacto es confiable (Mejía, 1983), se realizó una estimación, donde se examinó las características de aspereza, plasticidad y pegajosidad que transmiten al tacto los separados que contiene el suelo como se muestra en la Figura 10 y Tabla 1.

Figura 10.

Estimación de la textura del suelo en campo



Las manos humanas son sensibles a la diferencia de tamaño de las partículas de tierra, para determinar así las clases de textura con ayuda de la guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno (2010), donde el suelo de estudio presento dos tipos de textura, la textura Franco Arcillosa (FAr) en mayor proporción y seguida de la Franco Arcillo Arenosa (FArA)

Tabla 1.*Características de las clases texturales presentes en cada horizonte.*

Calicata	Horizonte	Textura	Tacto	Cinta	Bolas	Adhesividad
1	Oe	Franco arcillosa (FAr)	Suave	Regular	Buena	Alta
	Ah	Franco arcillosa (FAr)	Suave	Regular	Buena	Alta
	Abwr	Franco arcillo arenosa(FArA)	Poco áspero	Regular	Buena	Alta
	Bwd	Fanco arcillo arenosa (FArA)	Poco áspero	Regular	Buena	Alta
2	Oe	Franco arcillosa (FAr)	Suave	Rizada	Buena	Alta
	Ah	Franco arcillosa (FAr)	Suave	Regular	Buena	Alta
	ABwr	Franco arcillosa (FAr)	Suave	Regular	Buena	Alta
	Bwd	Franco arcillosa (FAr)	Suave	Regular	Buena	Alta
3	Oe	Franco arcillo arenosa(FArA)	Poco áspero	Regular	Buena	Alta
	Ah	Franco arcillo arenosa(FArA)	Poco áspero	Regular	Buena	Alta
	ABwr	Franco arcillosa (FAr)	Suave	Regular	Buena	Alta
	Bwd	Franco arcillosa (FAr)	Suave	Regular	Buena	Alta

Autores como Pathauer (2005) y Trujillo, (2013) sustentan que el *E. globulus* requiere para un normal desarrollo suelos profundos, bien drenados, no salinos ni alcalinos, de textura franca arcillosa, franca arenosa o arenosa. lo cual concuerda con la textura observada en el área de estudio.

4.1.7 Color

De acuerdo a la Figura 11 y la Tabla 2 los horizontes O y A de las calicatas 1, 2 y 3 presentan coloraciones oscuras (denominación 10 YR 3/2, 10 YR 4/2, 10 YR 4/3 y 7,5 YR 3/2) estas tonalidades son indicador de que los horizontes tienen buena fertilidad, donde el color es una de las características morfológicas más evidente.

Figura 11.*Determinación del color presentes en los horizontes de estudio***Tabla 2.***Tipos de colores presentes en los horizontes*

Calicata	Horizonte	Notación	Nombre
1	Oe	10YR3/2	very dark grayish brown
	Ah	10YR3/2	very dark grayish brown
	ABwr	10YR 4/4	dark yellowish brown
	Bwd	10YR6/6	brownish yellow
2	Oe	10YR4/3	brown
	Ah	10YR4/2	dark grayish brown
	ABwr	10YR 4/4	bark yellowish brown
	Bwd	10YR6/8	brownish Yellow
3	Oe	7.5YR3/2	dark brown
	Ah	10YR4/3	brown
	ABwr	10YR 4/4	dark yellowish brown
	Bwd	10YR6/8	brownish yellow

Los colores cafés, pardos y amarillos indican que son pobres en materia orgánica. A medida que las coloraciones son claras, como el caso de las tonalidades amarillas presentes en los horizontes hacen relación a que hay presencias de arcillas, las cuales tienen su origen a partir del material parental (roca madre) (Pérez, 2017).

4.1.8 Estructura del suelo

Con respecto al tipo y tamaño de los agregados del suelo, estos se clasificaron a partir de la guía para evaluación de la calidad y salud del suelo (USDA, 1999) Figura 12, encontrando una estructura en bloques cuyos tamaños van de fino (5 a 10 mm) a medio (mayor a 10mm), como se muestra en la Tabla 3.

Figura 12.

Clasificación por tipo y tamaño de estructura para los horizontes presentes en el área de estudio.



Para conocer las estructuras del suelo del sitio se colectó muestras ligeramente húmedas a secas correspondientes a cada horizonte pertenecientes a las calicatas, encontrando una estructura de clase débil, formada por agregados indefinidos apenas visibles, ya que cuando se extrajo del perfil, los materiales se rompieron dando lugar a una

mezcla de escasos agregados intactos, en su mayoría quebrados y mucho material no agregado, lo cual es susceptible a la erosión eólica.

Tabla 3.

Tipo y tamaño de las estructuras presentes en el suelo de la plantación

Horizontes			Oe	Ah	ABwr	Bwd
Calicata 1	Estructura	Tipo	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques
		Tamaño	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm
		Clase	Debil	Fuerte	Moderado	Fuerte
		Grado	Debil	Debil	Debil	Fuerte
Calicata 2	Estructura	Tipo	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques
		Tamaño	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm
		Clase	Debil	Fuerte	Moderado	Fuerte
		Grado	Debil	Debil	Debil	Fuerte
Calicata 3	Estructura	Tipo	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques
		Tamaño	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm	Fino 5 a 10 mm
		Clase	Fino	Fino	Fino	Fino
		Grado	Debil	Debil	Debil	Debil

La organización de los minerales, la materia orgánica y los poros forman la estructura del suelo, en la tabla se describe para cada calicata y su respectivo horizonte donde el tipo y tamaño de las partículas son homogéneas para las calicatas, siendo el resultado de procesos pedogénicos. Cock et al, (2006) afirma que una mala estructura causa efectos restrictivos para el desarrollo radicular para algunas plantas. Igualmente pueden limitar el movimiento del agua y del oxígeno del perfil del suelo, cuando estas están muy compactadas y presentan altos contenidos de arcilla, poca actividad microbial, impedimento en el crecimiento de las raíces, incidencia de enfermedades y mal drenaje, entre otros.

4.1.9 Observación de los agregados con ayuda del estereoscopio

Con respecto a los agregados del sitio se encontró homogeneidad en las calicatas 1, 2 y 3, y sus respectivos horizontes, la cual se clasifica como muy fino (Figura 13 y Tabla 4).

Figura 13.

Observación de los agregados presentes en el suelo de la plantación.

**Tabla 4.**

Clasificación de los agregados del suelo según su observación en el estereoscopio.

Horizontes		Oe	Ah	ABwr	Bwd
Agregados	Tipo	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Muy fino
	Tamaño	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Tipo	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Muy fino
	Tamaño	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Tipo	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Muy fino
	Tamaño	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

La FAO (2019) afirma que la agregación del suelo puede asumir diferentes modalidades, lo que da por resultado distintas estructuras de suelo. Bragg y Chamber afirman que la distribución de 1 a 10 mm facilita la retención de agua y permite crear el porcentaje de porosidad óptimo para mantener una aireación apropiada dentro del suelo para la especie *E. globulus* (Majada et al., 2012).

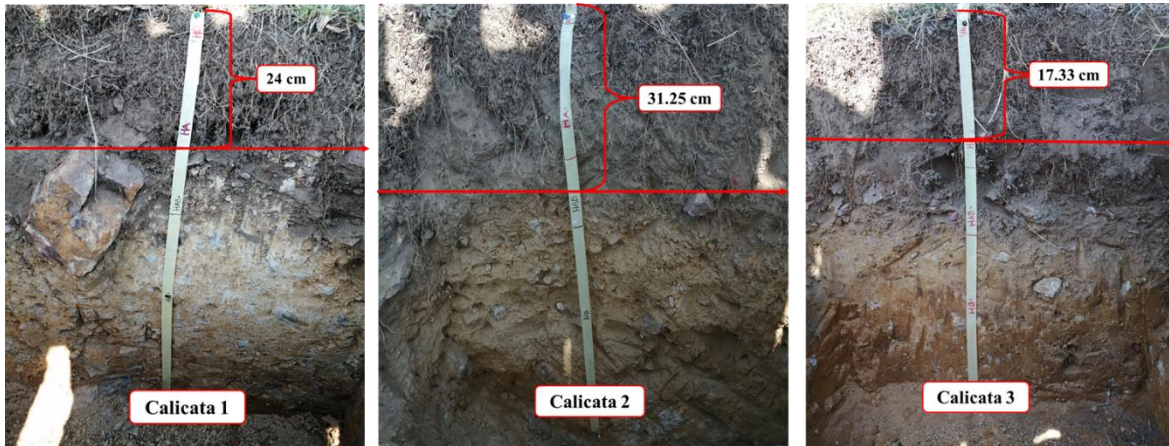
4.1.10 Desarrollo de raíces o profundidad efectiva

En la plantación las calicatas facilitaron la observación y medición de las raíces,

encontrando una profundidad efectiva máxima de 31,25 cm y una profundidad promedio de 24,2 cm, como se observa en la Figura 14.

Figura 14.

Presencia de raíces y profundidad efectiva



Es una propiedad de gran importancia para el desarrollo radicular de la plantación de *E. globulus*, encontrando que a mayor profundidad efectiva habrá mayor desarrollo radicular, siendo esta variable óptima para el desarrollo y crecimiento de la planta, donde autores mencionan que esta especie forestal está constituida por una raíz pivotante, que produce raíces a través de todo el perfil suelo, arraigándose a una profundidad de varios centímetros si el suelo lo permite, pero este puede ser volcado en sus primeras etapas de vida por causa del viento debido a que su sistema radicular se desarrolla con lentitud (Rojas, 2015), se entiende como profundidad efectiva la penetración hasta donde pueden llegar las raíces de las plantas en un suelo, sin ningún tipo de obstáculos (físicos o químicos), tales como: nivel freático, capas endurecidas, arenas sueltas, arcillas impermeables, presencia de sales entre otros. Encontrando una profundidad efectiva del suelo superficial o moderadamente profunda esta

limitante influye en la capacidad de anclaje y tienen mayor susceptibilidad de caer los árboles (Trujillo, 2013).

4.1.11 Temperatura edáfica

Aspecto ligado con la profundidad efectiva, además de la toma de agua y nutrientes, la temperatura de la zona radical tiene efectos marcados sobre el crecimiento y desarrollo de la planta, se encontró para el suelo de la plantación una temperatura que oscila entre 17,9 y 26,8 °C, y se midió la temperatura en cada una de las calicatas como se muestra en la Figura 15 y Tabla 5.

Figura 15.

Medición de la temperatura edáfica.



Tabla 5.*Temperatura edáfica del sitio de la plantación*

Temperatura edáfica	T° 6:00 AM	T° 12:30 M	T° 6:00 PM	Promedios
Calicata 1	18,9	26,8	17,9	21,2
Calicata 2	18,5	26,5	19,8	21,6
Calicata 3	19,9	23,2	19,8	20,96

Este aspecto va ligado con la profundidad efectiva, además de la toma de agua y nutrientes, la temperatura de la zona radical tiene efectos marcados sobre el crecimiento y desarrollo de la planta. En general, el crecimiento y desarrollo de la planta aumenta al incrementar la temperatura edáfica hasta un nivel máximo entre 25 y 35 °C, de acuerdo a la especie (Fischer et al, 1997). Cada especie tiene en las diferentes etapas de su desarrollo exigencias propias de la temperatura edáfica. Santelices (2005) argumenta que el éxito de las plantaciones se basa en la mayor temperatura que tiene el suelo, al compararlo con épocas frías las cuales disminuyen la temperatura, lo que permite a las raíces de las plantas tener un desarrollo más rápido, situación que finalmente también se manifiesta en la biomasa aérea, donde diversos estudios indican que el nivel de temperatura mínimo para la formación de nuevas raíces y para el crecimiento de las existentes es variable, aproximadamente la mínima es alrededor de los 10°C; en cambio, para especies de zonas templadas el óptimo está entre los 20 y 25°C.

4.1.12 Pedregosidad

Esta variable describe en forma general la cantidad de fragmentos rocosos, se encontró para el sitio una cobertura superficial entre el rango de 15 a 40% que hace referencia a mucha (M), como se muestra en la Figura 16.

Figura 16.

Presencia de rocas en el sitio de la plantación



Como se logra observar en la Figura 16, la presencia de rocas limita las labores mecánicas, y es un limitante para las raíces y su profundidad, además de reducir el espacio para la densidad de siembra de *E. globulus*. Donde investigaciones revelan que un alto nivel de presencia de roca limita el espacio del suelo, lo que se traduce en compactación del mismo (Gayoso y Alarcón, 2000), esta clasificación es útil para discriminar entre suelos con diferencias importantes de densidad aparente o compactación.

Andrade y López (2007) afirman que la pedregosidad suele ser beneficiosa para el desarrollo de las plantas de *E. globulus* en suelos arcillosos que en suelos arenosos, donde algunas plantas arbustivas de raíces profundas parecen estar mejor adaptadas a los suelos pedregosos que árboles o gramíneas de raíces superficiales, adicional sustentan que la pedregosidad comienza a afectar adversamente la productividad de las plantas por la restricción del espacio para el desarrollo de las raíces y la capacidad nutricional del suelo.

4.1.13 Drenaje

Para el estudio se calcularon tres tipos de drenajes: externo, interno y natural, el

primero consiste en el movimiento del agua sobre la superficie del terreno el cual se calificó como ligero o superficial, el drenaje interno constituye el movimiento del agua a través del suelo (duración y frecuencia) donde la eliminación del agua fue lenta y la apreciación conjunta de los drenajes anteriores da como resultado el drenaje natural del suelo, siendo este pobremente drenado por su eliminación lenta como se muestra y registra en la Figura 17 y Tabla 6 respectivamente.

Figura 17.

Determinación del drenaje



Tabla 6.*Calculo del drenaje para el sitio de la plantación*

Tamaño del hoyo (cm)	Agua (l)	Tiempo de drenaje (min)	Promedio (min)
20x20x5	2	165	211,5
	2	258	
20x20x20	10	1030	1147,5
	10	1265	
40x40x40	20	2895	3011,5
	20	3128	

Al analizar los tiempos de infiltración del agua en el suelo este presenta una larga duración en los tres hoyos, este es un indicador que el suelo está muy compactado, con altos contenidos de arcillas. Igualmente impiden que se muevan con facilidad los nutrientes dentro del perfil del suelo, lo que se traduce en un drenaje lento, siendo una característica desfavorable para el suelo y la plantación. Los factores que favorecen un buen movimiento o una rápida infiltración del agua dentro del perfil está asociado a texturas francas, arenosas a suelos no compactados, pendiente, topografía y profundidad efectiva. donde estudios realizados por Trujillo (2013) sostienen que la especie *E. globulus* requiere un suelo bien drenado para su óptimo desarrollo.

4.1.14 Caracterización de los factores de formación que actúan en el perfil del suelo del área

Es así que después de determinada las características físicas más sobresalientes en el suelo, se resumen en las Tablas 7 y 8, para la investigación, las cuales caracterizan los factores de formación que actúan en el suelo donde se cuantifica y califican las propiedades físico- químicas presentes en cada una de las calicatas evaluadas en campo.

Tabla 7.

Caracterización de los factores de formación que actúan en el perfil del suelo del área

Unidad Cartografica: Consociación		Unidad Fisiografica: Andic Humitropepts		Simbolo: MLDd
Departamento: Santander		Municipio: Málaga	Vereda: San Luis	Subclase: IVs-1
Características		Calicata		
		1	2	3
Altitud (m s. n. m.)		2.499	2.504	2.520
Coordenadas geográficas		6° 41'11,9"	6° 41'12,2"	6° 41'13,1"
		72°44'55,4"	72°44'53,5"	72°44'51,5"
Precipitación (mm/año)		1585 mm/año		
Relieve		Escarpado	Fuertemente inclinada	Moderadamente escarpada
Pendiente	%	25 a 30	7 a 12	12 a 25
Temperatura	Edáfica (C°)	21,2	21,6	20,9
	Ambiental	17 °C		
	Régimen de T°	Isotérmico		
	Nivel freático	Profundo(100-150 cm)		
Regimen de Humedad		Ustico		
Material Parental		Arenicas, Arcillositas, calcáreas y no, calizas, lutitas, cenizas volcánicas alteradas		
Material Geológico		Depositos cuaternarios: depositos coluviales, terrazas y aluviales		
Vegetación natual		Eucalipto, pino		
Uso Actual del suelo		Plantación forestal (<i>Eucalyptus globulus</i> , <i>pinus maximinoi</i>)		
Evidencia erosión		Moderada		
Profundidad efectiva (cm)		Muy Superficial (24)	Superficie (31,25)	Muy superficial (17,33)
Limitante de profundida		Aparición de rocas y textura		
Inundaciones/ frecuencia		No hay		
Drenaje	Externo	Ligero o superficial		
	Interno	Pobrementemente drenado		
	Natural	Pobrementemente drenado		
Horizontes	Epipedón	Umbrico		
Diagnósticos	Endopedón	Cambico		
Clasificación Taxonómica		Inceptisol		
Identificar factores y procesos pedogenéticos más importantes		La materia orgánica, que es aportada por la coberura vegetal el material parental rocas las cuales por procesos de meteorización van generando arenas, limos y arcillas, influye el clima por las precipitaciones y el relieve por ser de topografía que genera perdidas por arrastre de partículas y el tiempo.		
Identificar principales limitantes para varios usos		Son suelos muy superficiales o moderadamente profundos, el drenaje la mala circulación del aire y poca porosidad provoca condiciones hipoxia falta de oxígeno en el suelo		

Tabla 8.*Caracterización de las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil del suelo*

CARACTERÍSTICAS		CALICATA 1				CALICATA 2				CALICATA 3			
		Horizontes				Horizontes				Horizontes			
Nomenclatura		Oe	Ah	ABwr	Bwd	Oe	Ah	ABwr	Bwd	Oe	Ab	ABwr	Bwd
Espesor (cm)		6 cm	18 cm	14 cm	62 cm	8 cm	22 cm	13 cm	57 cm	5 cm	25 cm	15 cm	55 cm
Textura		Franco arcillosa	Franco arcillosa	Franco arcillosa arenosa	Franco arcillosa arenosa	Franco arcillosa	Franco arcillosa	Franco arcillosa	Franco arcillosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillosa	Franco arcillosa
Color Munsell	Notación	10YR3/2	10YR3/2	10YR 4/4	10YR6/6	10YR4/3	10YR4/2	10YR 4/4	10YR6/8	7,5YR3/2	10YR4/3	10YR 4/4	10YR6/8
	Nombre	very dark grayish brown	very dark grayish brown	dark yellowish brown	brownish yellow	brown	dark grayish brown	bark yellowish brown	brownish Yellow	dark brown	brown	dark yellowish brown	brownish yellow
Estructura	Tipo	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques	Bloques
	Clase	Fino	Fino	Fino	Medio	Debil	Fuerte	Moderado	Fuerte	Fino	Fino	Fino	Fino
	Grado	Debil	Debil	Debil	Fuerte	Debil	Debil	Debil	Fuerte	Debil	Debil	Debil	Debil
Agregados	Tipo	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Medios	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Muy fino	Muy fino
	Tamaño	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Raíces	Cantidad	95%	80 - 90%	10-15%	5%	95%	85 - 95%	20-25%	5 - 10 %	85- 95%	75 - 80%	20%	5%
pH		5,76	5,8	5,66	5,58	5,66	5,37	5,32	5,47	5,42	5,37	5,64	5,84

4.2 Propiedades químicas

Es importante conocer el análisis de suelo del sitio de la plantación, cabe aclarar que dentro del estudio no se tomó una muestra de suelo para dicha actividad, ya que el propietario del predio presento un resultado de análisis del suelo actualizado realizado en el laboratorio de la Universidad Industrial de Santander, con el propósito de conocer los elementos o nutrientes específicos presentes en el suelo y que son los responsables en la relación suelo-agua-planta.

El análisis del suelo es un conjunto de varios procesos químicos que determinan la cantidad de nutrientes básicos disponibles en el suelo, como se resume en la tabla 9, encontrando un suelo de pH ácido, con una saturación de aluminio alta, un porcentaje de nitrógeno y materia orgánica moderada, baja disponibilidad de Fosforo, Calcio, Magnesio, Sodio y Boro.

Tabla 9.*Resumen análisis de suelo*

Determinación Analítica	Valor	Interpretación
pH	5,2	ligeramente ácido
% Nitrógeno (N)	0,25 ppm	medio
% Materia orgánica	5,17 ppm	medio
Calcio Intercambiable (Ca)	2,05 meg/100 g suelo	bajo
Magnesio Intercambiable (Mg)	0,29 meg/100 g suelo	bajo
Sodio Intercambiable (Na)	0,11 meg/100 g suelo	bajo
Potasio Intercambiable (K)	0,28 meg/100 g suelo	medio
Aluminio Intercambiable (Al)	2,01 meg/100 g suelo	muy alto
Boro Disponible (B)	0,64 ppm	Bajo
Hierro Disponible (Fe)	203 ppm	muy alto
Manganeso Disponible (Mn)	15,6 ppm	medio
Cobre Disponible (Cu)	1,93 ppm	bajo
Zinc Disponible (Zn)	0,79 ppm	bajo
Fósforo (P)	12,2 ppm	bajo

En cuanto a los elementos que son importantes para el desarrollo y crecimiento del *E. globulus* está el nitrógeno siendo factor decisivo en el rendimiento, donde su requerimiento máximo es en la época de mayor desarrollo foliar, en cuanto al fósforo (P) actúa en el almacenamiento y la transferencia de energía, indispensable para puntos de crecimiento de la planta, siendo su requerimiento máximo en la etapa juvenil para el desarrollo de raíces. El potasio (K), es el encargado de mejorar el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Además, las plantas con adecuadas concentraciones de potasio sufren menos de enfermedades y finalmente el boro (B), su rol esencial radica en el desarrollo y crecimiento de las nuevas células meristemáticas, influye en la formación de flores y frutos, así como también en el proceso de polinización., siendo un elemento poco móvil en la planta. (Acosta, 2008).

4.2.1 pH: Potencial de hidrogeno

Es una propiedad de gran importancia para los métodos de formación y desarrollo del suelo, por esta razón, su importancia, donde el análisis arrojado en el laboratorio muestra un pH de 5,2 y en campo un pH de 5,57, donde la acidez del suelo depende del contenido de hidrógeno, aluminio y en menor proporción de hierro y manganeso, adicional se determinó para cada horizonte presente en las calicatas como se muestra en la Figura 18 donde el rango de pH se encuentra desde 5,32 hasta 5,84 los cuales se califican como pH ácidos.

Figura 18.

pH de los horizontes de estudio.



Los valores presentes en la Tabla 10 muestra la acidez del suelo presente en cada horizonte cuyo rango se encuentra desde 5,37 a 5,84, donde dichos valores se determinaron en campo, siendo similar al determinado para el análisis de suelo.

Tabla 10.*pH presente en los horizontes del suelo de la plantación*

Calicata	Horizonte	pH
1	Oe	5,76
	Ah	5,78
	ABwr	5,66
	Bwd	5,58
2	Oe	5,66
	Ah	5,37
	ABwr	5,32
	Bwd	5,47
3	Oe	5,42
	Ah	5,37
	ABwr	5,64
	Bwd	5,84

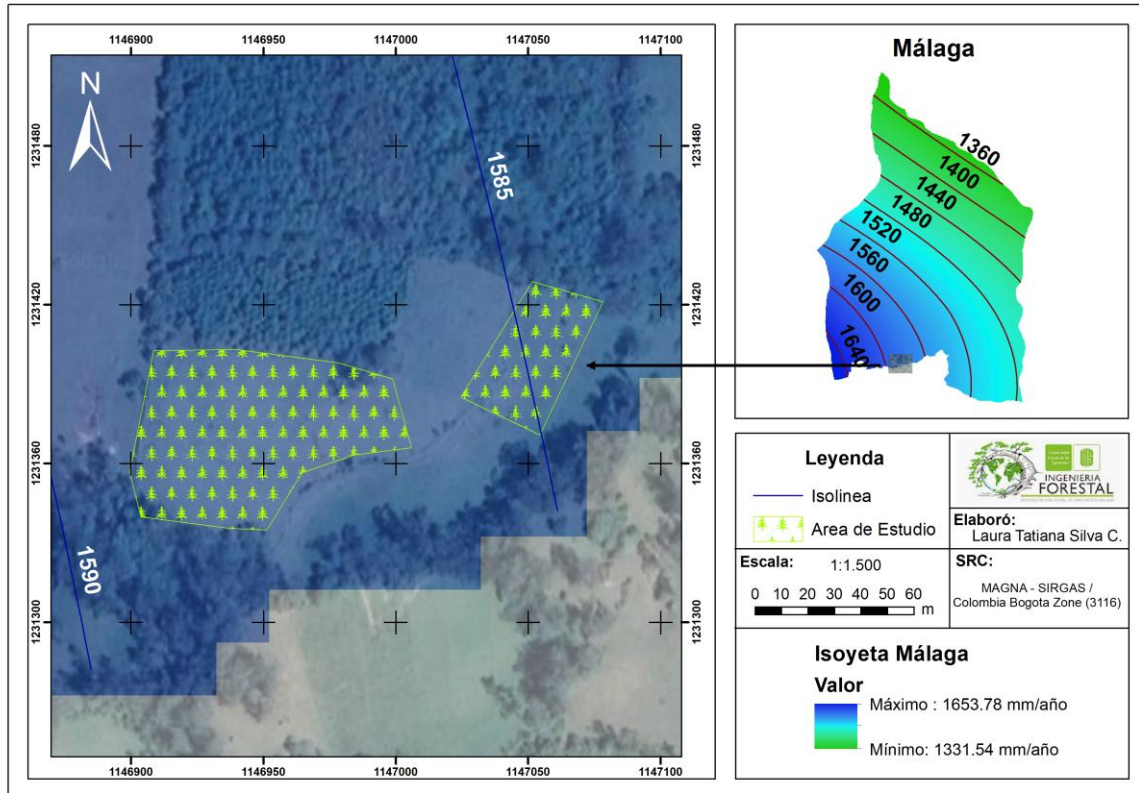
Algunos autores afirman que el pH del suelo influye en la disponibilidad de la mayor parte de los nutrientes, en las propiedades físicas y en la vida microbiana, siendo el *E. globulus* una especie que tolera suelos muy ácidos con relaciones C/N elevadas (mineralización lenta) y niveles de nutrientes muy bajos (Lugo, 1986; Guerra, 2012), adicional Calla (2017, citado en Hanco, 2018), expone que los suelos con forestación de eucalipto se encontraba más con datos de acidez; esto se debe a que consume más el calcio que destruye las arcillas que se encuentra en el horizonte A, liberando el aluminio que es tóxica para las plantas, por lo cual da como efecto la acidificación del suelo

4.3 Descripción de las condiciones climáticas del sitio de la plantación de *Eucalyptus globulus*

La influencia del clima en la plantación no depende sólo de las características climáticas de la localidad en que esté situado, sino también en gran medida de las condiciones

en que se desarrolla la producción. Es decir, tiene tanta importancia el nivel de exposición de la plantación al clima, como el nivel de vulnerabilidad, siendo un aspecto importante para las cualidades del sitio (Infoagro, 2019). En el presente apartado se detalla los registros climáticos, observaciones en campo, mapas y documentos del clima referentes al sitio y el municipio de Málaga, donde las variables descritas son: precipitación, humedad relativa y temperatura, donde datos suministrados por el IDEAM.

La precipitación promedia anual es 1.585 mm conformados por periodos secos y húmedos (abril a mayo y octubre a noviembre), siendo las épocas de inicio de lluvias el momento apropiado para fertilizar el suelo, en cuanto a la humedad relativa, el municipio de Málaga registra valores del 75% en promedio y una temperatura ambiental que va en un rango de 14 °C a 19 °C, según la metodología de Boshell. (Figura 19)

Figura 19.*Mapa de Isoyetas*

A pesar de que el *E. globulus* posee una gran adaptabilidad climática, las introducciones más exitosas a nivel mundial han ocurrido en lugares con un clima templado y moderado o en altas elevaciones con temperaturas frías en las áreas tropicales (Skolmen y Thomas 1990). Los factores climáticos tienen una gran influencia sobre la productividad anual de las plantaciones forestales. También tiene una gran importancia la disponibilidad de nutrientes del sistema, en la productividad de las plantaciones forestales (Schumacher y Poggiani, 1993 citado en Ualde, 2015). Adicional, estudios realizados por Carrillo (2001) demuestran que las condiciones mínimas que el eucalipto requiere para obtener rendimientos económicos rentables, son terrenos cuya profundidad sea mayor a un metro, bien drenados,

sueltos, de baja pedregosidad y pH entre 5,5 a 6,5 básicamente. De igual forma, la temperatura media anual entre 10 °C a 14 °C y 700 mm de precipitación como mínimo. Sin estas condiciones sus rendimientos no podrán superar los parámetros mínimos de rentabilidad.

4.4 Descripción de las variables dasométricas de la plantación *Eucalyptus globulus*

4.4.1 Altura en vivero

Durante la fase de vivero la plántula alcanzo una altura promedio de 33,3 cm en un periodo de dos meses, donde el rango de las mediciones fue de 30 a 35 cm como se muestra en las Figuras 20 y 21.

Figura 20.

Manejó en vivero de las plántulas

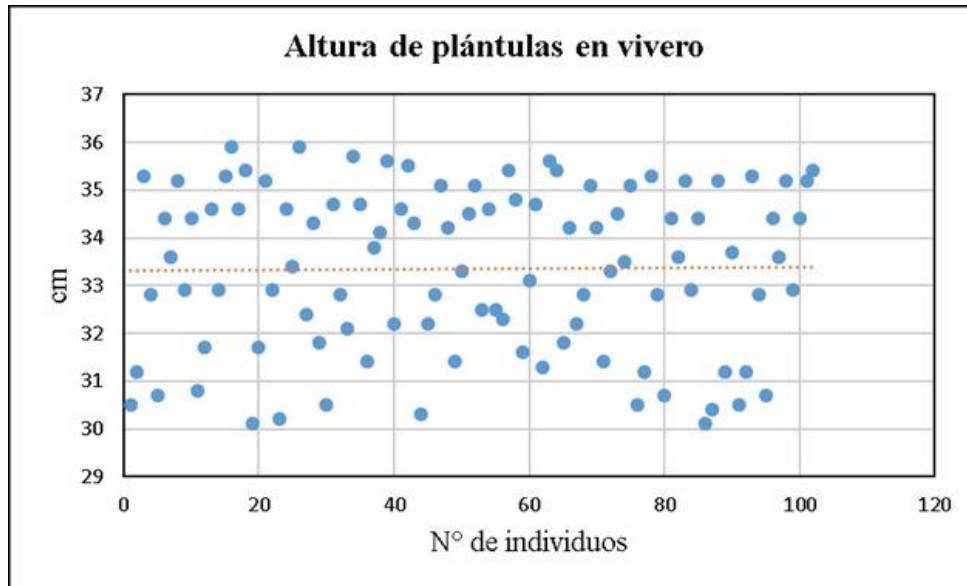


En la figura 21, se presenta gráficamente el comportamiento de las plántulas de *E. globulus* con respecto al parámetro de altura total en vivero, donde se destaca el crecimiento del 20% de los individuos los cuales fueron seleccionados al azar donde se encontró un rango óptimo lo cual significa que están en condiciones recomendables para ser llevados a campo,

cabe destacar que 54 individuos están encima del promedio, por lo cual se espera un buen desarrollo en campo.

Figura 21.

Altura de las plántulas en vivero.



Skolmen y Thomas (1990) en su trabajo de campo sobre *E. globulus* afirman que las plántulas cultivadas en contenedores en el vivero alcanzan un tamaño plantable de aproximadamente 30 a 40 cm de altura en un período de 3 a 4 meses, donde este tamaño es óptimo para que las plántulas se puedan establecer en campo, pero el éxito depende en gran medida de la presencia de un clima lluvioso y favorable después del plantado. Por lo tanto, las plántulas son por lo usual cultivadas en contenedores y plantadas con el terrón, por otra parte, la FAO (s.f) aclara que el período de tiempo en que ha quedado en el vivero y el tamaño medio de la planta al momento de la plantación, varían mucho de un lugar a otro, encontrando sitios cerca del ecuador que solo necesitan 2 meses para obtener plantas de Eucalipto con alturas de 25–30 cm. Por otro lado, en zonas más frías requieren de 12–15 meses para obtener

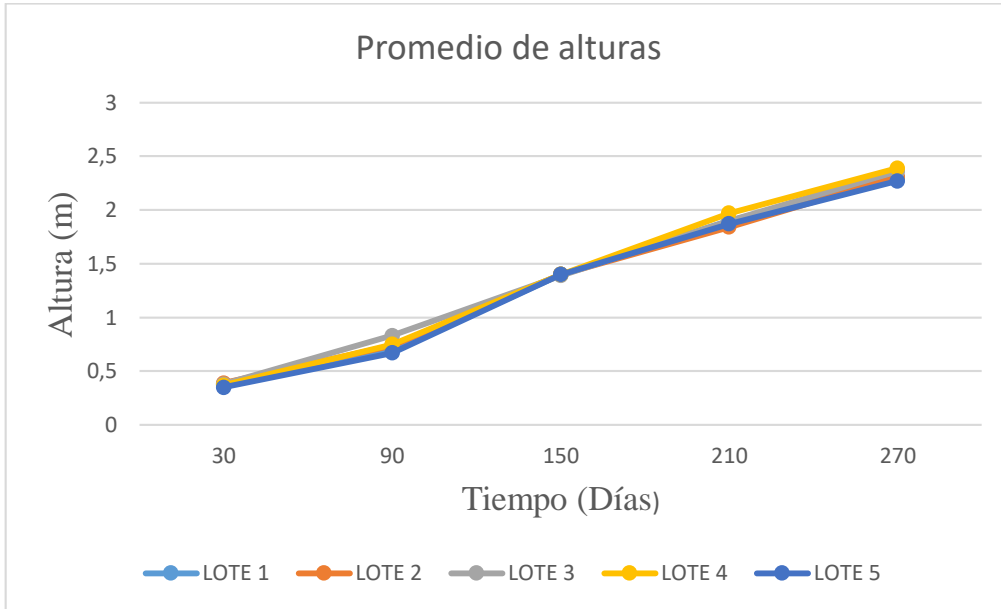
plantas de igual tamaño. En la mayor parte de las regiones tropicales y subtropicales, la altura media para la plantación varía de 15 a 30 cm y las plantas de este tamaño pueden obtenerse en 4–5 meses. En zonas más áridas, con clima mediterráneo, se emplean muy a menudo plantas de 30–50 cm de altura, que requieren 6–10 meses de vivero

4.4.2 Descripción de la altura y diámetro a los 20 cm del suelo de la plantación *Eucalyptus globulus*

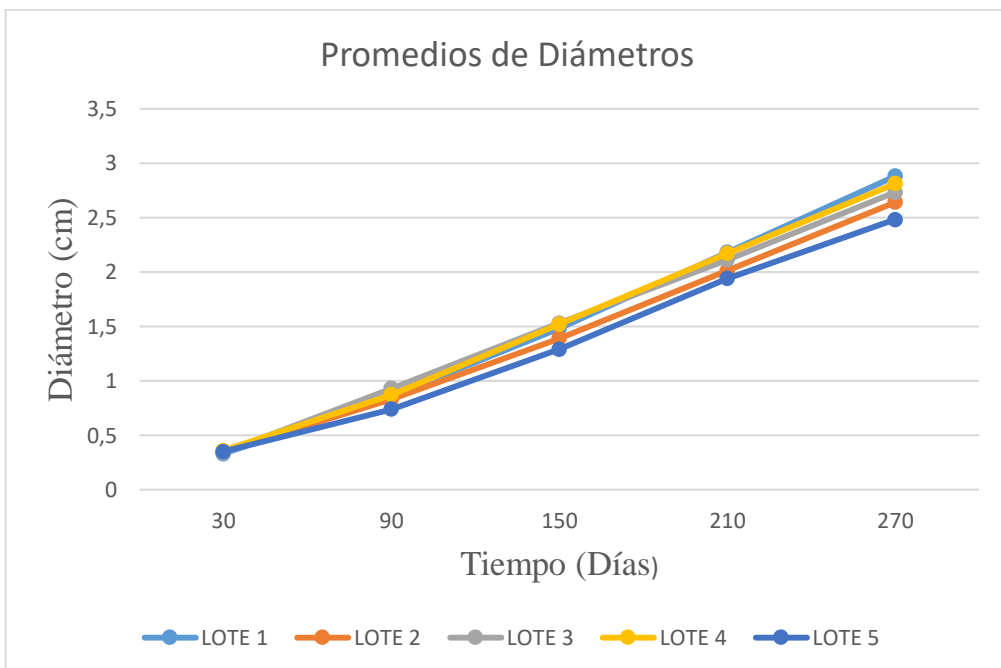
El *E. globulus* es considerado como una especie forestal de rápido crecimiento, reportado para el estudio alturas máximas de 3,93 m a los 11 meses y un promedio de 2,33 m, en cuanto al comportamiento por lotes se encontró que el lote 4, presenta el mayor crecimiento con un promedio de 2,39 m contrario el lote de menor crecimiento fue el lote 5 con un promedio 2,27 m como se muestra en la Figura 22, con respecto al diámetro este fue tomado a partir de los 20 cm a nivel del suelo encontrando un diámetro máximo de 4,14 cm y un promedio de 2,88 cm, donde el lote 1 presenta el promedio más alto con 2,88 cm versus el lote 5 con un promedio de 2,48 cm.

Figura 22.

Promedio de alturas en los diferentes lotes de estudio

**Figura 23.**

Promedio de diámetros a los 20 cm del suelo



En la figura 22 se expresa que se obtuvo una ganancia en altura de 0.83 cm diarios y en los ocho meses se obtuvo una ganancia de 2 m. Con respecto al diámetro la ganancia durante los ocho meses fue de 2,55cm.

Según los datos dasométricos obtenidos del programa estadístico R projet con referencia a la variable de diámetro a 20 cm del suelo, arrojó que el lote de mejor desarrollo es el lote 1 y en cuanto altura el lote sobresaliente fue el número 4, aunque cabe aclarar que estadísticamente el programa arrojó que no hay diferencia significativa, lo que indica que la plantación tiene un crecimiento homogéneo (Figuras 24 y 25)

Figura 24.

Diámetro a 20 cm del suelo de acuerdo al programa estadístico R Projet a los 270 días de establecida la plantación

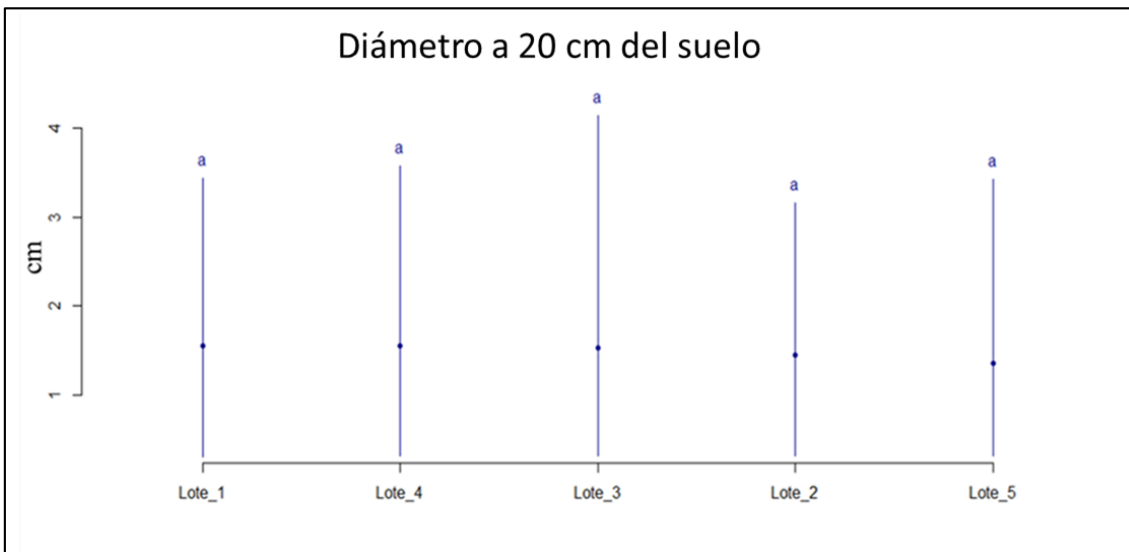
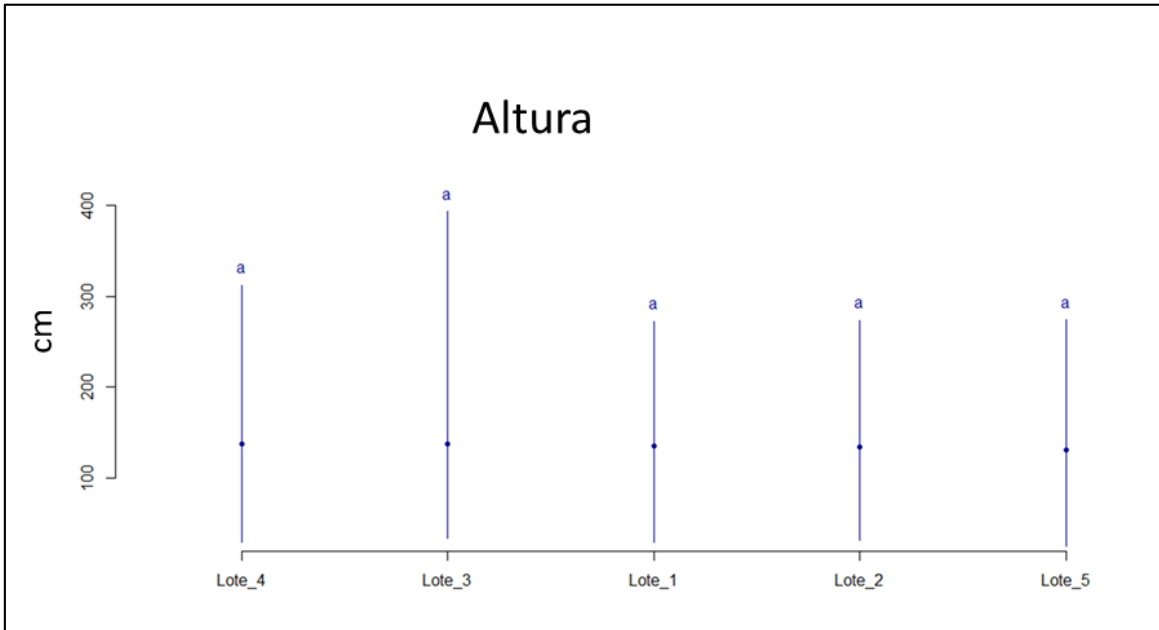


Figura 25.

Altura de acuerdo al programa estadístico R Projet a los 270 días



Estudios realizados sobre crecimiento y desarrollo del *E. globulus* manifiestan que esta especie bajo condiciones favorables alcanzan una altura de 1 m a los 6 meses, 2 m a 1 año y 4 m a los 2 años, pero en sitios donde son suprimidos se registró un crecimiento anual promedio de 1,1 cm en el diámetro a la altura del tocón y de 1,4 m en la altura en todas las plántulas de 3, 4, 5 y 6 años de edad. Las mediciones en seis rodales plantados representativos en California con una edad de 5 años o menos revelaron un crecimiento anual promedio en la altura de 2 m y en Victoria, Australia, las plántulas plantadas sin abonar crecieron 1 m anualmente durante un período de 4 años, mientras que el abonado de las plántulas a tres niveles diferentes casi duplicó la tasa de crecimiento, demostrando que las plántulas de *E. globulus* muestran una fuerte respuesta al abonado con nitrógeno y fósforo en muchos suelos (Skolmen y Thomas, 1990), adicional Carreño et, al (2018) afirma que el crecimiento medio en altura es de 4 m al año y en diámetro de 4cm, donde los datos obtenidos en la plantación

muestran un buen desarrollo, cabe mencionar que estos fueron fertilizados al mes de establecida la plantación y presentan resultados de manera positiva, como se muestra en la Figura 26.

Figura 26.

Labores dasométricas en campo



4.4.3. Descripción de las variables morfológicas

Para el cálculo morfológico de la plantación de *E. globulus* fue necesario realizar tres métodos destructivos eliminando tres árboles por método, cada uno con un lapso de tiempo de

dos meses, donde se evaluó la participación que hay entre hojas, ramas y tallos como se muestra en las Figuras 27, 28 y 29, donde se encontró que las hojas representan la parte más frondosa y pesada del árbol en estado verde y seco, seguido de los tallos y por ultimo están las ramas, cuyas partes presentan una cantidad de agua considerable, además se observa un buen desarrollo a través del tiempo para los árboles y sus partes, como se resume en la Tabla 11.

Figura 27.

Pesaje de las hojas en verde y seco.

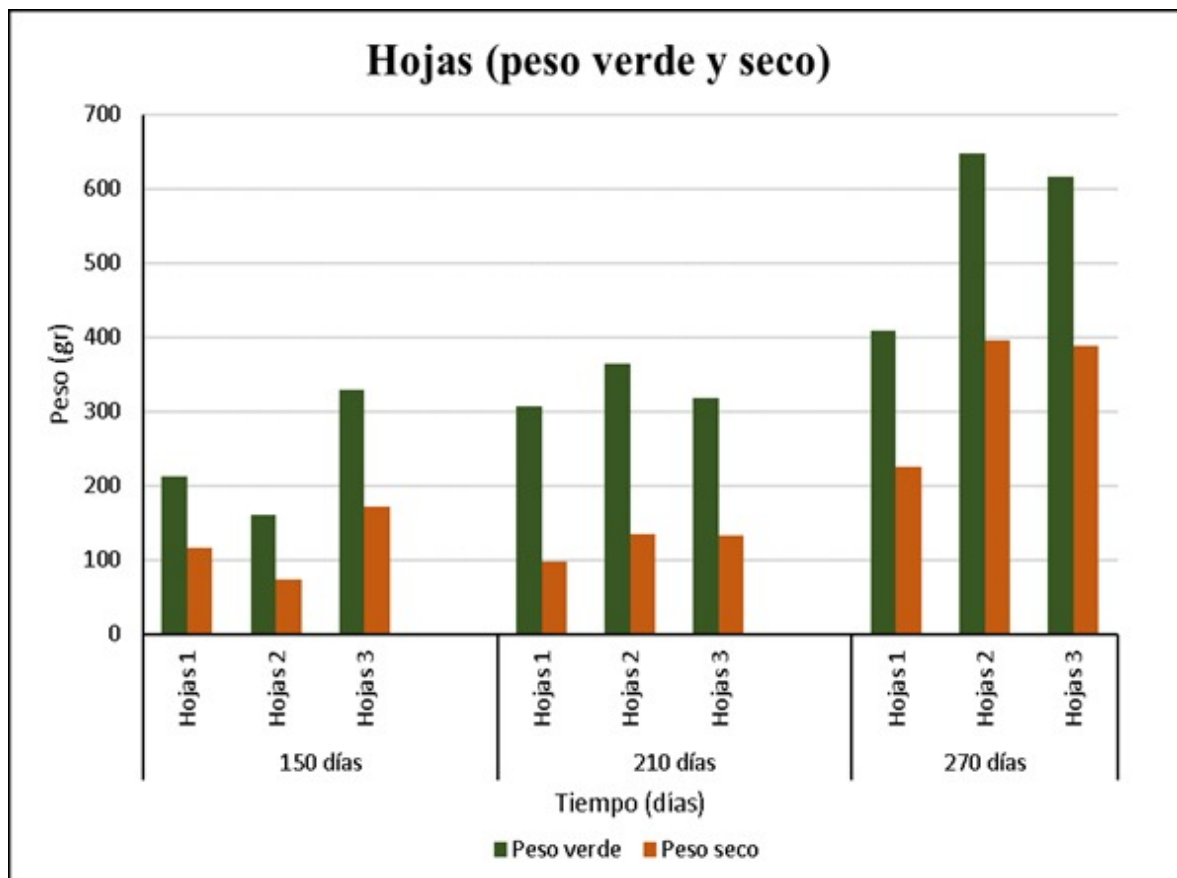


Figura 28.

Pesaje de las ramas en verde y seco

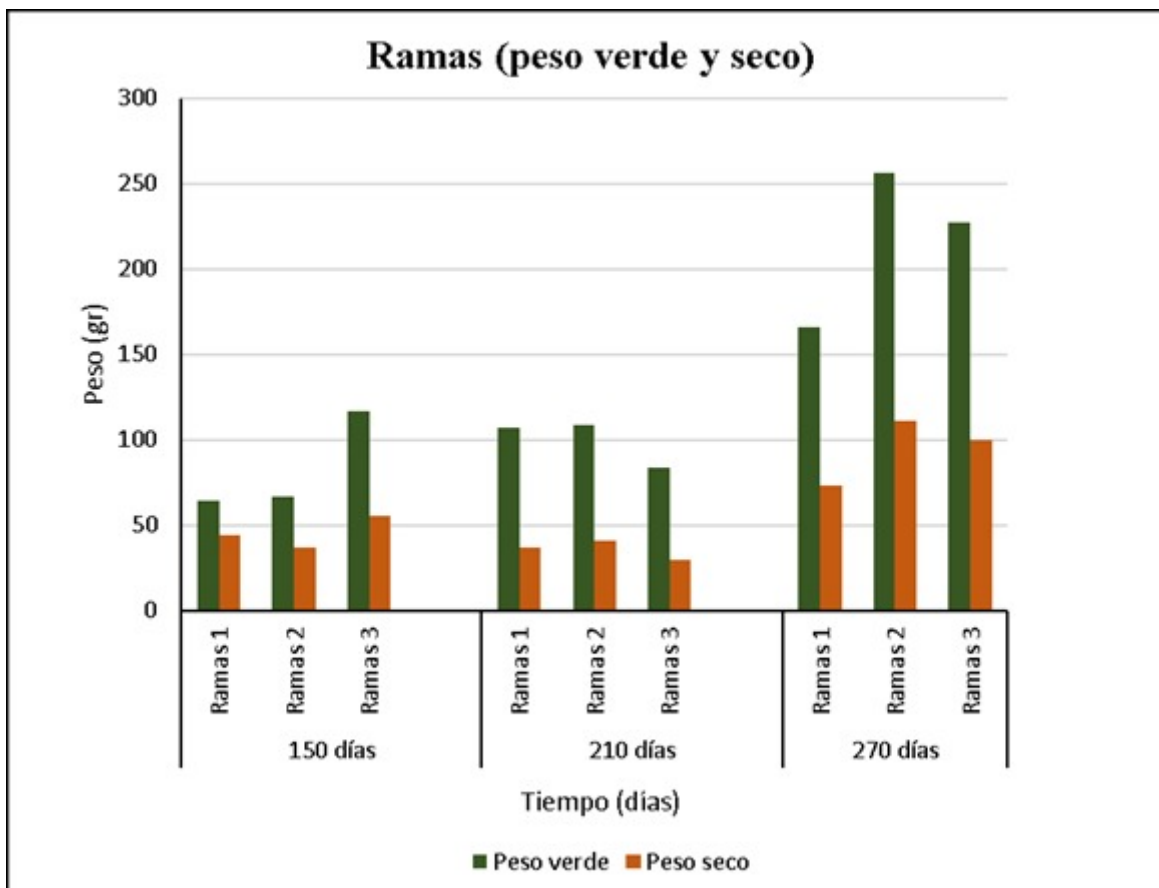
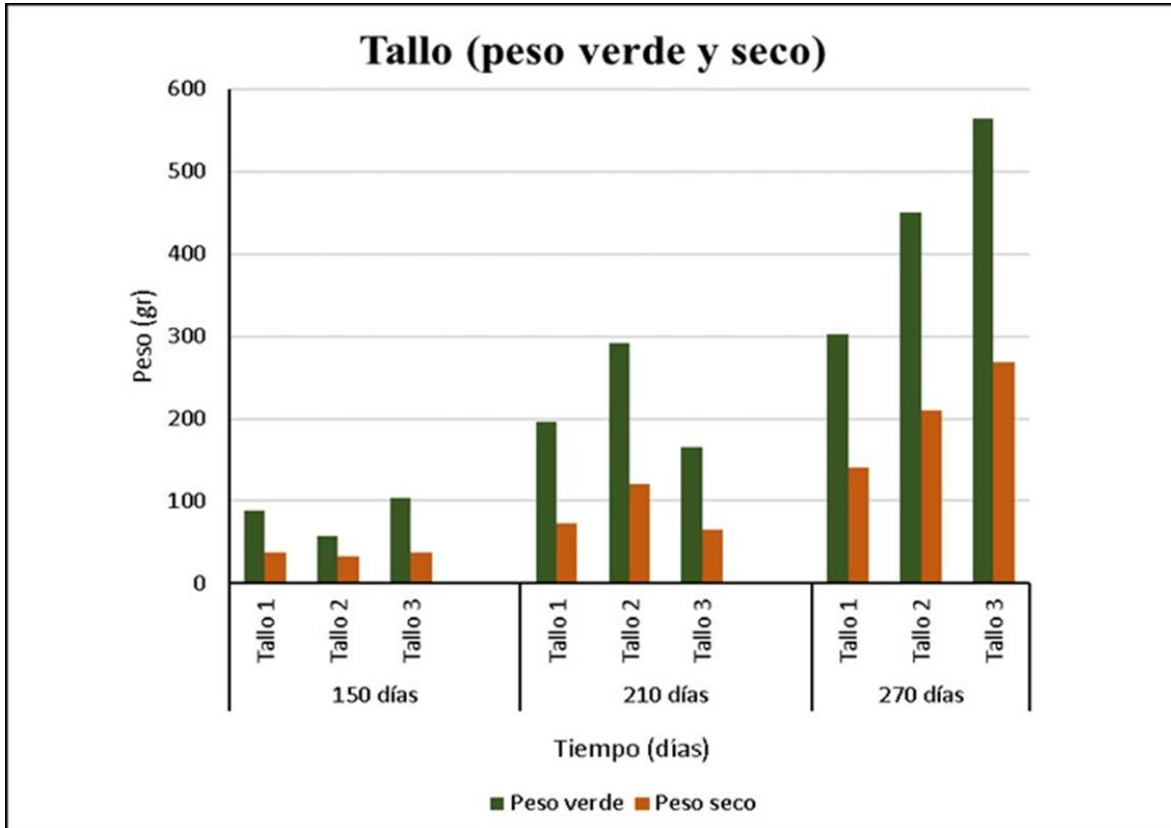


Figura 29.*Pesaje del tallo en verde y seco*

En la tabla 11, se destaca el contenido de humedad presente en los árboles, donde los datos obtenidos muestran hasta un 65.9% de agua, lo que significa que es un árbol suculento, en especial porque las plantas presentan un alto contenido de follaje de baja lignificación, por esta razón sus altos valores de humedad.

Tabla 11.*Resumen del Pesaje de hojas, ramas y tallos en verde y seco.*

Tiempo (Días)	Árbol	Peso (gr)	Hojas	%	Tallo	%	Ramas	%	Total	Humedad
150	1	Verde	213,1	58,3	88,15	24,1	64,56	17,6	365,81	45,96
		Seco	116,44	58,9	37,38	18,9	43,88	22,2	197,7	
	2	Verde	160,12	56,5	57,06	20,1	66,4	23,4	283,58	48,97
		Seco	74,32	51,4	33,61	23,2	36,79	25,4	144,72	
	3	Verde	328,41	59,8	104,26	19,0	116,68	21,2	549,35	51,57
		Seco	172,02	64,7	38,23	14,4	55,8	21,0	266,05	
210	1	Verde	307,2	50,3	196,28	32,2	106,68	17,5	610,16	65,90
		Seco	98,3	47,2	73,05	35,1	36,71	17,6	208,06	
	2	Verde	364,41	47,6	292,2	38,2	108,34	14,2	764,95	61,20
		Seco	134,76	45,4	120,95	40,8	41,07	13,8	296,78	
	3	Verde	318,16	56,1	165,37	29,2	83,23	14,7	566,76	59,79
		Seco	132,01	57,9	66,12	29,0	29,76	13,1	227,89	
270	1	Verde	408,52	46,6	302,82	34,5	165,86	18,9	877,2	49,78
		Seco	226,33	51,4	141,13	32,0	73,07	16,6	440,53	
	2	Verde	647,8	47,9	449,54	33,2	256,16	18,9	1353,5	46,94
		Seco	396,05	55,1	210,73	29,3	111,38	15,5	718,16	
	3	Verde	616,15	43,8	563,64	40,1	227,36	16,2	1407,15	46,28
		Seco	387,84	51,3	268,25	35,5	99,8	13,2	755,89	

Estudios realizados al *E. globulus* afirman que durante la fase inicial de desarrollo de los árboles en una plantación forestal, los carbohidratos sintetizados por la fotosíntesis son destinados en mayor proporción a producir biomasa en la copa del árbol, hasta el momento que las copas de los árboles compiten entre sí, y a partir de dicho momento es cuando la producción de biomasa en el fuste comienza a aumentar progresivamente en relación a la síntesis de biomasa en la copa del árbol (Waring y Schlesinger 1985, Schumacher y Caldeira 2001). En plantaciones comerciales de *E. globulus*, hasta los 1,5 y 3,0 años, la prioridad de los árboles es el desarrollo de sus copas. Hasta dicha edad los árboles presentan un 15 a 20% de su peso seco en las raíces, 10 a 12 % en las hojas, 8% en ramas, 10% en la corteza y entre 50 a 55% en la madera del tronco. Cuando alcanza los 7 años, tienen 70 a 75% de biomasa en la madera en relación al total del árbol. Cuando alcanza los nueve años la proporción de biomasa en madera respecto al total puede alcanzar un 80%. A partir los seis y siete años la acumulación de biomasa se da preferentemente en la madera, mientras que la acumulación en hojas, raíces y corteza será a una tasa menor (Foelkel, 2005), donde los datos obtenidos para el estudio se ajustan a la edad y desarrollo del árbol siendo la variable humedad un valor inversamente proporcional a la edad, es decir a mayor edad disminuyen su contenido de agua debido a la lignificación de la planta.

En cuanto a la distribución de la biomasa dentro del árbol, Curlin, citado por Schumacher y Caldeira (2001) afirmó que generalmente la distribución de la biomasa en las diferentes fracciones del árbol es: madera > ramas > corteza > hojas. Dicha distribución de las proporciones de acumulación de biomasa puede variar según la especie y también según las condiciones ambientales y procedencias (Caldeira, 1998). Otros autores coinciden que en árboles adultos de *E. globulus*, la madera representa un 71 y 76 % del peso seco de la biomasa

total, la corteza un 10 a 11%, las ramas un 7 a 8 % y las hojas de 8 a 10%. Balboa Murias (2005) afirma que se da un patrón de comportamiento de acumulación de biomasa, según los diferentes órganos, siendo: madera > corteza > hojas > ramas > ramillas

Gonzales (2008) también afirmó que en la edad en la cual se da la cosecha comercial de *E. globulus*, dicha especie es la que presenta menor proporción de restos de cosecha comparado a otras especies del género, debido a que presenta una copa más pequeña, lo que es una característica distintiva de dicha especie, independiente al esquema de manejo que se realice

Viera et al. (2012) también observaron que en las primeras edades de los árboles *Eucalyptus* la proporción de biomasa aérea en madera y corteza es inferior a 50% y a partir de los seis y ocho años la proporción de biomasa en madera y corteza es de 75% respecto al total de biomasa aérea (Ualde,2015).

Según datos obtenidos en el trabajo de Schumacher et al. (2011) se observa que los componentes hojas, ramas, corteza y raíz reducen su biomasa a medida que aumenta la edad del árbol, mientras que la biomasa total y de madera del fuste se incrementan. Uno de los factores que influyen en la distribución de biomasa en los diferentes compartimientos del árbol, es la productividad del sitio. Ante un sitio con baja fertilidad, se observó niveles elevados de biomasa producida en el sistema radicular, con el fin de que el árbol necesita explorar un mayor volumen de suelo para compensar la baja fertilidad del mismo.

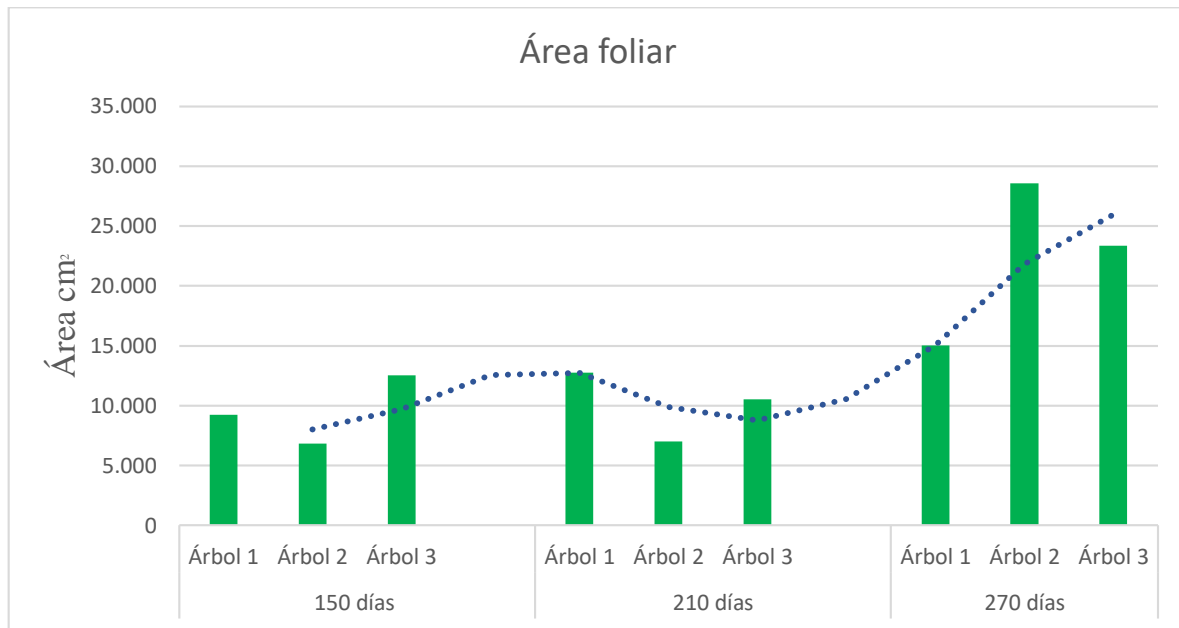
4.4.4 Área foliar

En la Figura 30 el área foliar de tres tomas diferentes con los métodos destructivos, a los cinco, siete y nueve meses de vida de las plantas, observando que dentro del mismo rango de edad hay variaciones significativas en su capacidad para interceptar la radiación solar

siendo una propiedad del árbol, aunque de manera general se puede afirmar que a medida que pasa el tiempo aumenta el contenido de área foliar, siendo esta variable una característica que beneficia a la plantación.

Figura 30.

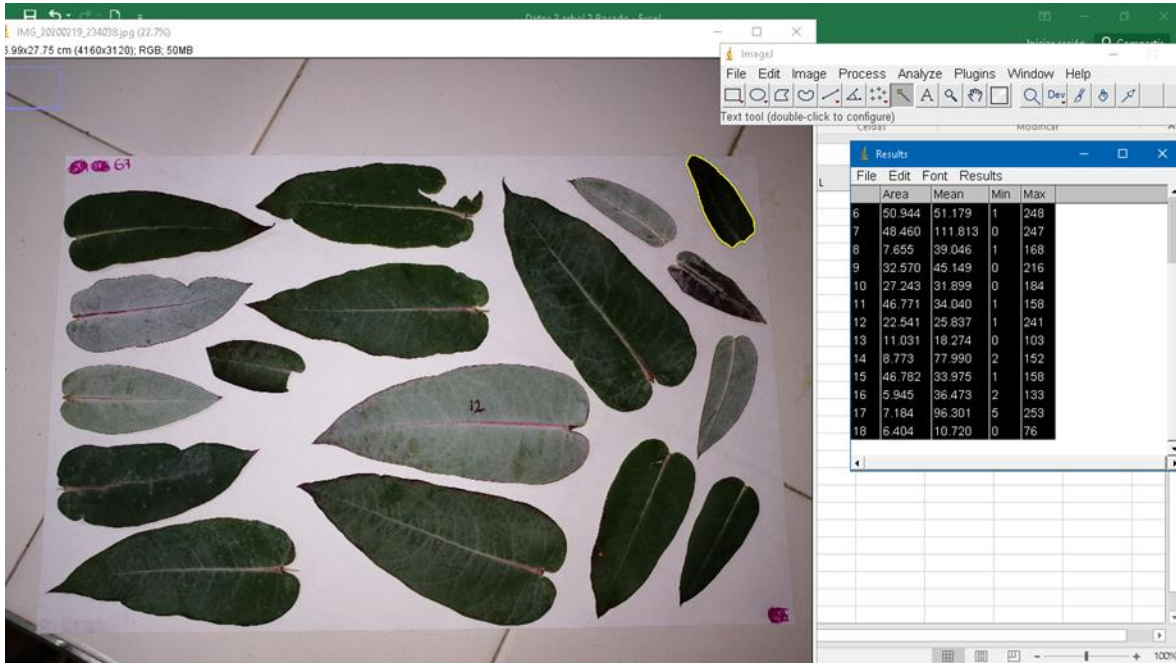
Área foliar



En la Figura 30, el área foliar respecto a las mediciones de los días 150 y 210 no se observa diferencia en volumen, debido a que se realizaron podas, donde los arboles medidos a los 210 días se encuentran en desventaja en cuanto al área foliar, adicional el crecimiento y desarrollo foliar a los 270 días presenta mayor volumen debido a la época de lluvia y la fertilización realizada con anterioridad, lo cual se traduce en un árbol frondoso.

Figura 31.

Determinación del área foliar con el software Imagen J.



Como se observa en las Figuras 30 y 31, el área foliar de los árboles extraídos a través del método destructivo presentan diversidad de formas y tamaños, lo cual hace diferente y propio el área foliar. Algunos autores sustentan que en hojas juveniles de plantas de *E. globulus* desarrolladas durante las primeras temporadas de crecimiento han sido identificadas variaciones morfológicas orientadas a un engrosamiento cuticular y reducción de la superficie de hoja individual, y se favoreció la maximización de la intercepción lumínica y la minimización de la resistencia de la copa al viento (Pincheira, 2003). Por esta razón en cuanto mayor es el índice de área foliar en una plantación forestal de *Eucalyptus* mayor será el área fotosintéticamente activa, por lo tanto, habrá mayor producción de fotoasimilados y por consiguiente habrá mayor producción de biomasa total (Viera et al., 2012 citado por Ualde, 2015), donde Pincheira (2003), afirma que un aumento en la disponibilidad hídrica

del suelo favorece el incremento de área foliar absoluta de hoja individual y rama de *Eucalyptus*. Sin embargo, la magnitud de las diferencias de producción de superficie foliar es particular a cada genotipo y condición edafoclimáticas.

4.5 Manejo de las labores silviculturales

4.5.1 Consecución de semillas

En cuanto a la selección y recolección de las semillas de *E globulus* se buscó un lugar donde se encontrará la especie, cuyas características del sitio fueran similares a la del área de estudio, encontrado dicho lugar en el municipio de San José de Miranda, en la vereda Yerbabuena parte alta ubicado a 2.760 m s. n. m., donde se halla un bosque de *E. globulus*, en el cual se realizó una detallada observación de la especie, para seleccionar así el árbol plus al cual se le extrajo una cantidad de frutos considerables características morfológicas y fitosanitarias optimas, para continuar con su manejo en vivero como se muestra en la Figura 32.

Figura 32.

Consecución de la semilla de Eucalyptus globulus



Posterior a la recolección se almacenaron las semillas en una caja de cartón, las cuales fueron expuestas al sol durante 30 días seguidos para que la capsula abriera totalmente y expulsara las semillas, desprendiéndose de las impurezas. En total se recolectó 58,4 gr de semillas más impurezas, de los cuales 47,9 gr corresponde a impurezas y 10,5 gr de semillas, siguiente a esta labor se sumergieron en agua para hacer una separación más exhaustiva donde las semillas que flotan no son aptas para germinación (Figura 33).

Figura 33.*Clasificación de la semilla*

Estudios realizados con semillas provenientes de plantaciones de *E. globulus* ubicadas en diferentes regiones establecen que no hay efectos de la procedencia de estas en su comportamiento durante el proceso de germinación, ni en los atributos de las plantas que estas originan (Escobar, 2007), adicional Skolmen y Thomas (1990) afirman que hay entre 18 y 320 semillas por gramo de semillas y hollejo o alrededor de 460 semillas limpias por gramo, donde las cápsulas liberan las semillas inmediatamente al alcanzar la madurez, las semillas recién liberadas germinan dentro de unas pocas semanas bajo condiciones adecuadas. Los árboles comienzan a producir semillas a los cuatro o cinco años y rinden unas abundantes cosechas de semillas en la mayoría de los lugares a unos intervalos de tres a cinco años.

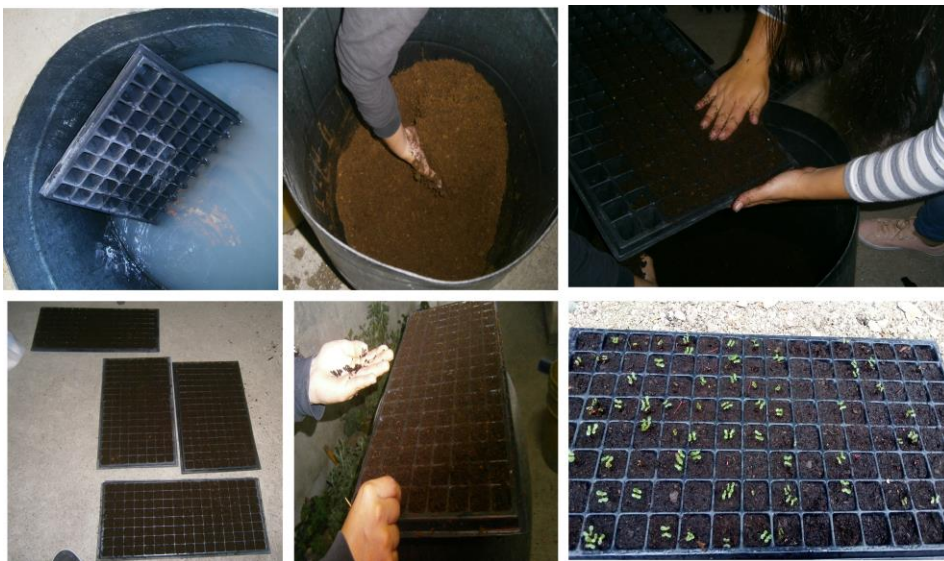
4.5.2 Germinación

Esta fase inicio con la desinfección de las bandejas en una solución química a base de oxiclورو de cobre 50 gr diluido en 10 l de agua sumergiéndose por un tiempo aproximado de 60 min, posterior a la desinfección se preparó la turba, a la cual se le adicionó la 1.5 l de la solución química antes mencionada de manera que quedara una mezcla húmeda,

donde dicho sustrato posee características físicas, químicas y biológicas propicias, que facilitaron la germinación. Se llenaron 4 bandejas conformadas por 128 alveolos cada una, se depositaron las semillas en el centro de los alveolos, lo que significa que se sembraron 512 semillas de *E. globulus*, donde el 95% germinaron que corresponden a 486 plántulas, las cuales se empezaron a observar 10 días después de la siembra en las bandejas, como se muestra en la Figura 34.

Figura 34.

Desinfección, llenado y germinación de las bandejas



Autores recomiendan que al momento de la siembra se debe ubicar en primera medida las semillas en hileras superficialmente, las cuales son cubiertas con el mismo sustrato, la cual se cubrió con una capa 0,5 cm, libre de piedras y terrones, y así proteger el germinador para evitar la acción directa del sol y lluvia (Ospina et, al. 2006), para el caso del estudio los germinadores fueron cubiertos con un plástico negro, el cual los protegía y conservaba la temperatura aspecto clave para su desarrollo, adicional el tipo de material vegetal y su grado

de descomposición determina en gran medida el valor de la turba para el uso en medios de cultivo en vivero (Cropprotection, 2002).

4.5.3 Vivero

Seguido a la fase anteriormente descrita y después mantener tapadas las bandejas por un periodo de cinco días con un plástico negro cuya finalidad era mejorar sus condiciones ambientales in situ y regando las bandejas dos veces al día durante su paso por el vivero (mañana y tarde), pasado 17 días cuando las plántulas presentaban su primer par de hojas verdaderas, se trasplantaron a bolsas negras cuyas dimensiones fueron de 9 cm de ancho por 18cm, las cuales contenían una mezcla de tierra y cascarilla de arroz en una proporción 80% - 20% respectivamente, sumado a esto se adicionó el desinfectante oxiclórico de cobre (800 gr) para proporcionar sanidad al material vegetal, y así continuar en vivero por 60 días más, tiempo en el cual se llevó a cabo dos fertilizaciones con sulfato de magnesio (40 gr) y radifoss (40gr) diluido en 20 l de agua, adicionando por planta una cantidad de 3 Oz de la solución, donde se llevaron a bolsa 486 plántulas, adicional se evidencio el desarrollo radicular y cotiledones las cuales presentan óptimo desarrollo y raíces profundas, donde algunas investigaciones afirman que el producto final de vivero es una planta en condiciones de ser llevada a campo exitosamente, aunque las condiciones que debe presentar la planta son diversas y van de acuerdo a la finalidad de la producción donde la relación del tallo (de un solo eje) y la raíz (raíces no enruladas, buena lignificación y estado sanitario) debe ser adecuada (INTA, s. f). Cabe mencionar que el vivero se ubicó en la zona urbana del municipio de Málaga, a una altura de 2182 m s. n. m., cuyas coordenadas son 6°41'43,55"N y 72°43'49,84"O y se encuentra una temperatura que oscila entre 12 a 17°C.

Figura 35.

Manejo en vivero de las plántulas de Eucalyptus globulus



Ospina et, al. (2006) mencionan que para el trasplante de bandejas a bolsas se debe usar bolsas negras de dimensiones 16 cm por 8 cm con fondo resistente y perforado, donde después de 3,5 a 4 meses de germinadas estas presentan una altura promedio de 15 a 20 cm, lo cual es un indicativo para ser llevadas a campo, donde se mantuvo una buena aireación y drenaje así evitando el damping-off y pudrición de las hojas y el tallo, al finalizar la etapa de vivero para el estudio la planta alcanzo alturas de 30 a 35 cm.

4.5.4 Establecimiento de la plantación

4.5.4.1. Preparación del terreno. Se inició con el refuerzo del cercado para demarcar los linderos de la plantación y el encierre del sitio para llevar acabó el trazado del terreno, el cual se realizó bajo el método de tres bolillos (cada 4 metros entre calle y surco bajo de la plantación) por medio de altimetría y planimetría con base a la topografía del área, usando materiales como la brújula, cuerda y estacas para la marcación del trazado, donde se

enterraron 420 estacas de acuerdo al método tres bolillos en un área de 0,68 ha, cuya densidad de siembra es de 625 árboles/ha, de manera que facilitara posteriormente el plateado (Circunferencia de 120 cm) de manera que en el sitio de siembra quedara limpio, al ser realizado el ahoyado, el cual presentaba dimensiones de 15 cm de diámetro por 25 cm de profundidad y finalmente se llevó a cabo el encalado utilizando 50 gr de cal dolomita y 50 gr de cal agrícola por hoyo, esta labor se ejecutó 15 días antes de la siembra de *E. globulus* en el área de estudio (Figura 36, 37 y 38)

Figura 36.

Preparación del terreno



Figura 37.

Trazado parcela 1

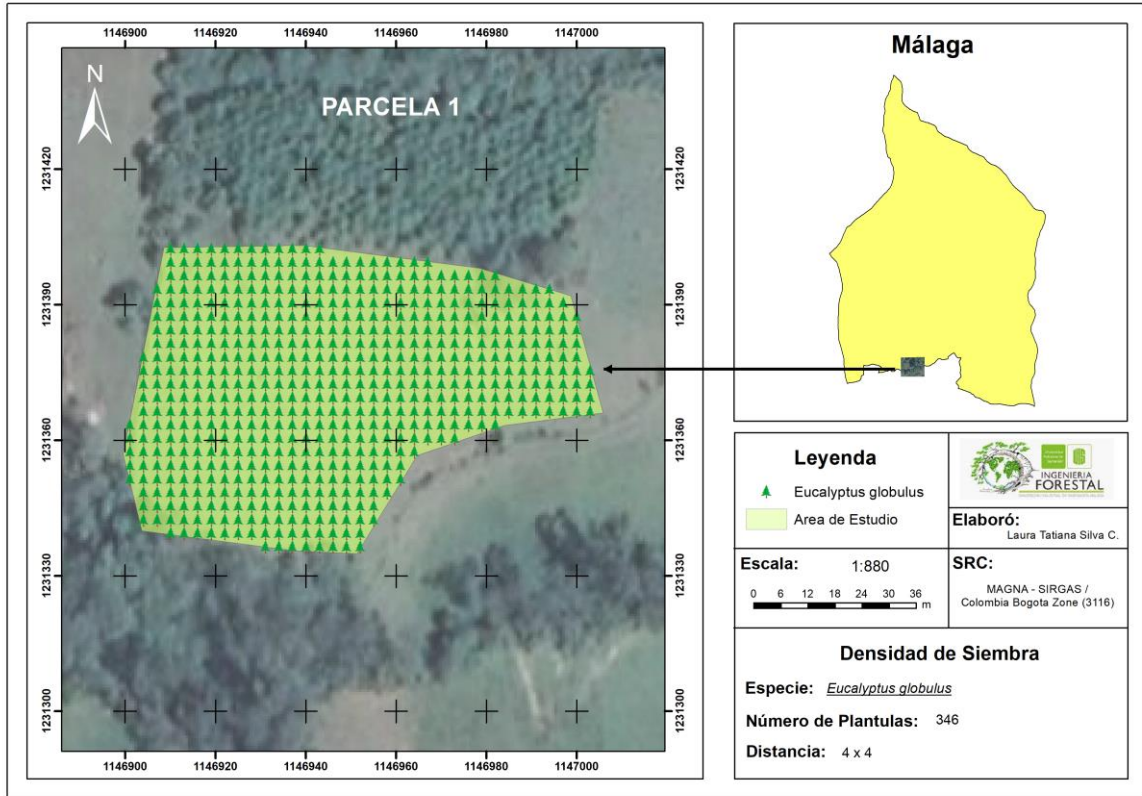
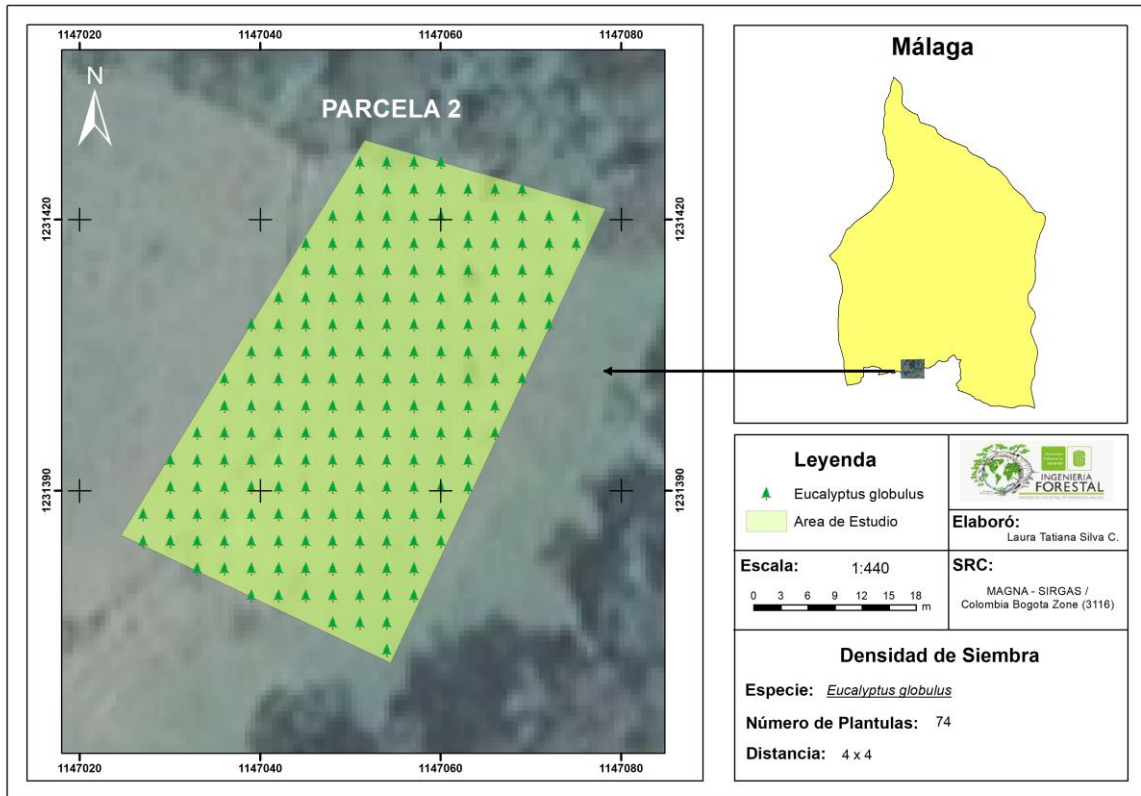


Figura 38.*Trazado parcela 2*

El *E. globulus* es una planta que requiere una buena preparación del terreno, donde dicha actividad contiene una serie de acciones que en conjunto permiten modificar la capa superficial del suelo para mejorar sus condiciones físicas, y mantener su productividad, para efectos de favorecer la futura plantación en sus fases de establecimiento, sobrevivencia y desarrollo posterior, si esta actividad no se lleva a cabo, se corre el riesgo de un crecimiento lento (Conaf, 2013), es por ellos que para el estudio se realizó una preparación profunda del suelo para así obtener óptimos resultados. Arauz (2019) sustenta que la etapa inicial de las especies es fundamental, es la más calificada y rigurosa en el instante del establecimiento de una plantación, por el cual se

tiene que obtener un control en la producción, tratamiento y mantenimiento, en esta etapa es necesario tener conocimientos y técnicas adecuadas. Los conocimientos no solo basarse en el material vegetativo, tienen que estar presentes lo administrativo y lo económico. Nova et, al (1991) afirma que el trazado en triangulo es recomendable, ya que aprovecha en buena forma el terreno implementando más cantidad de plantas independiente de la topografía del terreno.

Dalla (2020) agrega que el plateado o rotulación del suelo previo a plantar sirve para romper posibles capas superficiales compactadas, genera un nuevo control de malezas y acumula humedad, donde medidas de 1,2 m a 1,4 m de ancho son suficiente para lograr una buena implantación y minimiza los problemas de suelos erosionables, además afirma que es clave arrancar la plantación sin competencia de malezas, debido a que el eucalipto en su etapa inicial es muy sensible a un efecto que podemos denominar de “raíces restringidas”, todo lo que limita el crecimiento de las raíces de la planta en sus primeros meses provocará una detención o reducción del crecimiento. Y los eucaliptos son característicos porque la recuperación de esta restricción inicial puede tomarle años o nunca recuperar su crecimiento potencial.

4.5.4.2 Siembra. Al retirar las plántulas del vivero con alturas optimas de 30 a 35 cm, estas fueron llevadas al sitio de plantación de tal manera que iban protegidas del viento, ya en el lugar se quitó la bolsa y el individuo se plantó a nivel con suelo, apretando la tierra a su alrededor, haciendo presión con las manos, plantando 420 plántulas, donde su colocación influye en su desempeño y mortalidad, cabe mencionar que la siembra se llevó a cabo en épocas de lluvia. Pasado 20 días se revisó la mortalidad y sobrevivencia de las plantas, para lo cual se encontró una mortalidad del 6% (25

plantas), lo cual requirió hacer una resiembra, seleccionando las plantas de mejor desarrollo que aún continuaban en bolsa, y se realizó el mismo procedimiento para su siembra (Figura 39)

Figura 39.

Siembra



Corral (1996) expone que al momento de la siembra el hoyo debe estar previamente encalado (cal agrícola) con fines de corregir pH, aprovechando el sustrato con el que viene la planta, para su siembra apisonando bien el suelo, acción que se llevó de igual forma en el estudio, adicional, Corral considera una mortalidad no máxima al 10% es normal y la resiembra se debe llevar acabo en el mismo periodo invernal en el que se realizó la plantación

total, lo que demuestra que la mortalidad observada en el sitio está en el rango normal.

4.5.5 Mantenimiento

El plan de manejo silvicultural hace énfasis principalmente en el manejo de las malezas, el plan de fertilización, podas y plan de hongos y plagas, fundamentado en el conocimiento técnico y científico sobre el estado de la especie a intervenir y de su relación con las condiciones edafoclimáticas, y sus requerimientos nutricionales.

4.5.5.1 Plan de fertilización. Las plantaciones de *E. globulus* y su respuesta a la fertilización dependen de la edad, estado de desarrollo y competencia que presente la plantación, donde las plantas por medio de sus raíces absorben los nutrientes en cantidades considerables, aún más en el inicio de la plantación siendo necesario un adecuado abastecimiento de nutrientes para el desarrollo de sus raíces, tallo, ramas y follaje. Estos nutrientes en primera instancia los suministra el suelo y, en segundo lugar, el manejo y aplicación de fertilizantes, donde la proporción va acorde con la fisiología de la especie, características edafológicas de suelo y de ambiente, los cuales afectan la disponibilidad de los mismos. En esta fase el plan de manejo para fertilización es una técnica eficiente para aumentar y acelerar el crecimiento de los *E. globulus* en campo, donde su dosificación y tipo de fertilizantes suministran los nutrientes de acuerdo a las necesidades de la especie, su estado fisiológico y productivo, basado en el análisis de suelo y acorde con el aspecto económico, para mantener una producción altamente rentable. Donde el suelo del sitio presento un pH ácido con una saturación alta de aluminio intercambiable, siendo necesaria enmiendas con cal para reducir esa acidez del suelo de forma eficiente y económica. Adicional se encontró disponibilidad moderada de nitrógeno, con bajo contenido de fósforo, los cationes de calcio,

magnesio y sodio intercambiables también requieren de suministro adicional ya que en el suelo su contenido es bajo. con presencia de potasio moderada. En cuanto a los micronutrientes que están en bajas proporciones son el zinc y boro los cuales se deben complementar en la fertilización. Es importante que esta actividad vaya acompañada del control de malezas, evitando competencia por agua y nutrientes

Las primeras recomendaciones o sugerencias para el plan de manejo de fertilización se hacen a partir del uso recomendado que propone el IGAC (2002) en las clases agrológicas, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12.

Sugerencias para el plan de manejo de fertilización de acuerdo a las clases agrológicas que propone el IGAC

Clase	Subclase	Uso recomendado
IV	s	Sectores con pendiente hasta el 12 % tiene uso en cultivos con siembra en contorno (papa, frijol, maiz y haba) o aquellos que ofrezcan cobertura permanente al suelo sin piedra superficial, para pendientes mayores frutales (tomate de arbol, mora, curuba lulo) empleando practicas de conservación tales como: siembra en curvas de nivel fajas en contorno y efectuando desyerbas con machete; para uso en ganaderia semiextensiva se hace necesaria la rotación de potreros mejorados (King grass, pasto azul) mezclando con leguminosas y siembra de pasturas de corte. Algunas áreas tienen vocación forestal en donde debe promoverse el cultivo de especies nativas

Adicional en el plan de manejo de fertilización se tiene en cuenta los horizontes del perfil del suelo como se expone en la Tabla 13.

Tabla 13.*Prácticas de manejo necesarias para cada horizonte*

Horizontes	Prácticas generales de manejo
Oe	Estos horizontes constituyen una función muy importante, la cual es servir como reservorios de CO ₂ . Conservar la materia orgánica presente en el horizonte y aumentar dicho aspecto con ayuda de métodos de fertilización, reduciendo la acidez por medio del encalamiento adecuado. Evitar la exposición del suelo a los rayos directos del sol, cuando estos no presentan cobertura vegetal
Ah	Continuar con la conservación de la materia orgánica, fertilizar y encalar racionalmente. Evita mecanismos de labranza Realizar manejo de coberturas con la finalidad de mantener las propiedades del suelo
ABwr	Evitar inversión ascendente de los horizontes, fertilizar y encalar racionalmente. Realizar manejo de coberturas con la finalidad de mantener las propiedades del suelo
Bwd	

Y finalmente, las recomendaciones basadas en el análisis de suelos y la especie *E. globulus*

Dosis de enmienda: para corregir pH (5,2) se debe aplicar cal dolomita con una dosis de 300 gr/ árbol una vez al año diferente a la fertilización.

Dosis de fertilizante y época de aplicación: al mes de establecida la plantación se llevó a cabo la primera fertilización, para lo cual se agregó una mezcla de los fertilizantes tripe 15 y agrimins en una relación de (10:2) donde la cantidad que se suministró por árbol fue de 75 gr a los 30 días y nuevamente se fertilizó a los 270 días con la misma mezcla, pero duplicando la cantidad, el cual se aplica a una distancia de 30 cm de la base del árbol después de haber hecho el plateado, cabe mencionar que los dos fertilizantes usados vienen en presentación granular. (Figura 40)

Figura 40.*Fertilización*

4.5.5.2 Plan de podas. El *E. globulus* es una especie que requiere de podas, ya que esta labor favorece el crecimiento del ápice principal a través de la corta de los brotes laterales que sean menores a 45° del suelo, para el estudio se efectuó tres podas de formación a los 90, 150 y 270 días, ya que se debe realizar en los primeros años de la plantación, su objetivo es

conducir el árbol para obtener una estructura de ramas principales fuertes, bien distribuidas y situar la copa a cierta altura del suelo (Figura 41).

Figura 41.

Podas



Las podas realizadas en la plantación se iniciaron a los 90 días de establecida debido a su incremento en ramas bajas del árbol, por esta razón se efectuó con el fin de prevenir la acumulación de ramas y disminución de la copa. Cabe resaltar que después de realizada las podas se adicionaba el cicatrizante natural para evitar el ingreso de hongos a la madera del *E. globulus*. Gualpa (2016) afirma que la poda es variable y debe ser evaluada caso a caso,

dado que el *E. globulus* tiene poda natural, aunque se puede acelerar este proceso podando a edades tempranas.

4.5.5.3 Plan de malezas. Las malezas o arvenses pueden ser consideradas hospedadoras de enfermedades y plagas que pueden afectar la plantación forestal. Para lograr un buen desarrollo se implementan oportunas medidas de control con la vegetación competidora, ya que los insectos, las enfermedades y las malezas son las causantes del daño al sistema, donde estas últimas son las responsables del 50% de las pérdidas económicas, es por ello que para la plantación se realizó limpieza del plato (Figura 42)

Figura 42.

Control de malezas



En esta actividad se debe mantener la plantación sin competencia de maleza el

máximo tiempo posible hasta que las plantas presenten un buen desarrollo, reflejado en el crecimiento y la vigorosidad. Siendo importante eliminar la maleza en un diámetro mínimo a 1.30 metros alrededor de la planta a los 6 meses de establecida la plantación y al año.

Montealegre, (2017) expresa que las malezas son un factor importante en el cuidado y producción de la plantación, debido a que sus efectos solo se logran calcular después de que estas se encuentren establecidas, es decir, en épocas tardías, es por ello que se debe mantener una buena limpieza alrededor del árbol.

4.5.5.4 Plan de manejo de enfermedades y plagas. En la plantación se evidencio el insecto conocido comúnmente con el nombre de Pulgón (*Ctenarytaina* sp), que se ubica en la zona apical del árbol y hongo Moho gris (*Botrytis* sp), que aparece primero en las hojas en forma de puntos color amarillo y se expande rápidamente hasta cubrir toda la hoja tornándola color café, después ataca el tallo principal formando manchas color violeta hasta lograr necrosis total causando la fractura del tallo que alteran el crecimiento y buen rendimiento de los arboles (FAO, 2006) como se muestra en la figura 43.

Figura 43.

Plagas y hongos presentes en la plantación de Eucalyptus globulus



Se realizaron fumigaciones en la plantación para el pulgón, con 0,5 ml de Proteus por litro de agua dos veces cada 60 días, donde se obtuvo que al mes de la última fumigación se erradico la plaga; para el hongo solo fue necesario una aplicación con 0,5 ml de Score por litro de agua ya que eran muy pocos los individuos afectados por causa del hongo.

5. Conclusiones

La descripción del componente edafológico del sitio de la plantación (tipos de suelo, clases agrologicas, perfil del suelo, características físicas y químicas) permitió conocer que variables favorecen o limitan el desarrollo para el *E. globulus*. En campo algunas de las variables físicas se pueden modificar antes del establecimiento de la plantación, pero las variables químicas solo se pueden modificar a lo largo del crecimiento y desarrollo de la planta, ya que al mejorarlas permiten generar mayor tolerancia tanto a estreses bióticos (plagas y enfermedades) como a estreses abióticos (sequías e inviernos prolongados) teniendo en cuenta que en escenarios futuros se pueden agravar por efectos del cambio climático.

Los resultados obtenidos con el *E. globulus* en la plantación, indica que la especie está en una zona climática óptima para su desarrollo, donde la elección del sitio para el establecimiento debe realizarse de manera detallada y teniendo en cuenta sus necesidades, para lo cual el lugar se adecuo aplicando las técnicas de establecimiento necesarias a sus requerimientos alcanzando un buen crecimiento y desarrollo para la especie.

La calidad del material vegetal de *E. globulus* colectado evidencio que el fenotipo del árbol plus, sumado a las buenas prácticas de manejo silviculturales en vivero y del sitio de la plantación garantizaron el óptimo desarrollo y crecimiento, alcanzando ganancias de altura diaria de 0,8 cm y logrando alturas promedio de 2 m a los ocho meses de establecida la plantación con un diámetro a los 20 cm del suelo de 2,55 cm.

La baja heterogeneidad de las variables dasométricas como diámetro a los 20 cm del suelo y altura en los cinco lotes ponen en evidencia que, aunque el sitio de la plantación no es el ideal, el *E. globulus*. permite asociarse a suelos de baja fertilidad y profundidad efectiva

muy superficial con una buena adaptación para la especie, respondiendo positivamente a las enmiendas realizadas.

El plan de manejo de la labor silvicultural de control de malezas es fundamental realizarlo antes de hacer la fertilización para evitar la competencia por nutrientes y para regular el crecimiento de aquellas plantas que generan dominancia. En este plan se implementaron métodos manuales efectivos (plateo) que son de bajo costo, mejorando el crecimiento y desarrollo de las especies forestales, acompañados de un plan de podas y control de plagas y enfermedades.

6. Recomendaciones

Antes de establecer una plantación forestal es fundamental conocer las condiciones edafoclimáticas del sitio y los requerimientos de la especie, para obtener una producción rentable y de óptima calidad.

La plantación de *E. globulus* fue monitoreada durante 1 año obteniendo resultados positivos, siendo necesario su continuo monitoreo durante los cinco primeros años, aplicando las labores silviculturales necesarias para lograr un óptimo desarrollo de la plantación.

Ejecutar los planes de manejo forestal para la plantación de *E. globulus* garantiza la producción de madera de calidad y evita pérdidas económicas por problemas fitosanitarios

Se recomienda seguir usando la especie de *E. globulus* en suelos de baja fertilidad ya que es una especie que se adapta fácilmente a estos suelos y presenta un rápido crecimiento.

Referencias Bibliográficas

- Acuña, M. y Velásquez, D. (2017). *Plan de aprovechamiento del bosque de Pinus radiata y Eucalyptus globulus y plan de establecimiento y manejo de un nuevo bosque conformado por especies nativas en la escuela seccional de Policía Gonzalo Jiménez de Quesada en el municipio de Sibaté (Cundinamarca (tesis de Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de <http://sie.car.gov.co/handle/11349/1761?show=full>*
- Andrade, J. y López, R. (2007) Estimación de la pedregosidad volumétrica del suelo, con base en el área de fragmentos de roca expuestos en un inceptisol de los Andes venezolanos. *Revista Forestal Venezolana* (51) 2, 219-229. <https://www.researchgate.net/publication/264311613>
- Arauz, N. (2019). “*Criterios para el manejo de la fertilización en plantas de Eucalyptus globulus L. en condiciones de vivero en el cantón San Miguel de Urcuquí, hacienda pisangacho, provincia de Imbabura, año 2019*” (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- Escobar, R. (2007) Manual de viverización *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/17185/24892.pdf;jsessionid=48BDCC4CC28034DBE12F547906AEEE6C?sequence=1
- Espinales, J. (2019). *Eficiencia de herbicidas en el control de malezas en plantaciones de Eucalyptus globulus Labill., cantón Urcuqui, provincia de Imbabura, 2019* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- Ezequiel, D. (2015) *Eucalyptus globulus sp. globulus Labill* (Eucalipto blanco) Familia

Myrtaceae. <http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/procedimiento-requerido-en-plantaciones/eucalyptus-globulus-sp-globulus-labill-familia-myrtace.pdf>

FAO (s.f) Establecimiento y ordenación de las plantaciones de eucalipto. <http://www.fao.org/3/ac459s/ac459s08.htm>

FAO (2015). *Propiedades físicas y químicas del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-delsuelo/propiedades-fisicas/es/>

FAO (2019). *Estructura del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm

Fischer, G.; Torres, F. y Torres, J. (1997). Efecto de la temperatura del suelo sobre la planta. 1. Crecimiento y desarrollo. *Revista Comalfi* (24)3, 78-92. https://www.researchgate.net/publication/257069715_Efecto_de_la_temperatura_d_el_suelo_sobre_la_planta_1_Crecimiento_y_desarrollo

Fuentealba, S. (2019). *Propuesta de plan estratégico para la penetración de una empresa de silvicultura forestal hacia el mercado de la cosecha forestal* (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Santiago de Chile.

García, J. (2015). *Modelización del crecimiento y la producción de plantaciones de Eucalyptus globulus Labill. En el noroeste de España* (tesis de doctorado). Universidad de Santiago de Compostela. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/75994613.pdf>

- Gayoso, J. y Alarcón D. (2000). Guía de Conservación de Suelos Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. <http://www.uach.cl/proforma/gsuelos.htm>.
<http://www.uach.cl/proforma/guias/gcsuelo.pdf>
- Gualpa, M., Rosero, S., Samaniego, M. y Cevallos, E. (2016) Caracterización edáfica y dasométrica de una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill. y propuesta de manejo en la zona estepa espinosa Montano Bajo, Riobamba, Ecuador. *Enfoque UTE*. 7 (3), 26-40. Disponible en:
<http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422016000300026&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1390-6542. <http://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.103>.
- Guerra, E. (2012). *Estudio de factores que incrementan la rentabilidad de plantaciones pulpables de Eucalyptus globulus Labill en Chile* (tesis de doctorado). Universidad de Córdoba Recuperado de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/7560/563.pdf?sequence=1>
- Hernández, A. et al, (2010). *Fundamentos de la estructura de suelos tropicales*. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Nayarit, México
- Hernández, A. (2012). El uso del eucalipto en reforestaciones. Instituto privado de investigación sobre cambio climático. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/09/El-uso-de-eucaliptos-en-reforestaciones.pdf>
- Herrera, A. (2019) *Evaluación del desarrollo inicial de Eucalyptus globulus y Eucaliptus grandis, bajo un diseño de espaciamiento circular de tipo Nelder en el municipio de Málaga, Santander* (Tesis pregrado). Universidad Industrial de Santander, Málaga Santander <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2019/177358.pdf>

IDEAM (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

Infoagro (2019) Relación entre el clima y la productividad agraria: diferencias regionales y entre cultivos (1ª parte). https://www.infoagro.com/hortalizas/relacion_clima_cultivo.htm#:~:text=El%20clima%20es%20un%20recurso%20natural%20que%20afecta%20a%20la%20producci%C3%B3n%20agraria.,-Su%20influencia%20en&text=Es%20decir%2C%20tiene%20tanta%20importancia,clim%C3%A1tica%20en%20el%20sector%20agrario.

Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2016). *Indicadores ambientales*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2002). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Santander*. Recuperado de <http://www.igac.gov.co>

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

Majada, J.; López, G., Oliveira, L. Y Carvalho, C. (2012). *Eucalyptus globulus Labill. Producción y manejo de semillas y plantas forestales* (1)1, pp.462-491. https://www.researchgate.net/publication/320078144_Eucalyptus_globulus_Labill

Martínez et al., (2006). Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 2(3), 816-820. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46120313.pdf>

Martínez, B. (2013) Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales de pequeños

y medianos propietarios https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1386687876guiabuenaspracticass_ppf.pdf

Ortego, A. (2019). *Patrimonio forestal sostenible en Galicia, el eucalipto* (Tesis de pregrado). Universidad de A Coruña. Coruña, España.

Organization of American States (2019) Clasificación de los suelos según su capacidad de uso. <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea30s/ch028.htm>

Ovalle, J. (2010). *Trabajo de graduación realizado en la empresa "Pilonos de Antigua SA", Antigua Guatemala con énfasis a: evaluación de concentraciones de auxinas para la propagación vegetativa comercial de 4 especies forestales: melina (Gmelina arborea) eucalipto (Eucalyptus urograndis), pino (Pinus patula) y pinabete (Abies guatemalensis)* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Pérez, N. (2017). *los Características de suelos del Municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas* (Tesis de pregrado). Universidad de Ciencias y Artes De Chiapas, Chiapas, México.

Romero, R.; Macías, F.; Rigueiro A. y Fernández J. (1993) Absorción de aluminio por las raíces de eucaliptos (*eucalyptus globulus Labill*) en suelos naturales y encalados de Galicia. Congreso forestal español http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GwK3wHig8VUJ:secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/download/14915/14758/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co

Salamanca, L. y Ortiz T. (2018) Extracción de nutrientes y parámetros productivos de *Eucalyptus globulus* bajo diferentes niveles de fertilización en la zona de vida bosque muy húmedo montano Bmh-M (Tesis pregrado). Universidad Industrial de

Santander, Málaga Santander.

<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/172501.pdf>

Samaniego, C. (2013) *Efecto de un incendio forestal en una plantación de Eucalyptus globulus Labill. subsp. globulus en Huaraz*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

[http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1762/K70-S187-](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1762/K70-S187-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1762/K70-S187-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Servicio de Conservación de Recursos Naturales (2014) Claves para la Taxonomía de Suelos

Décima segunda Edición

https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf

Skolmen, R. y Thomas F. (1990) *Eucalyptus globulus Labill. Eucalipto goma azul*.

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7rPBHgUkRrQJ:https://r>

[ngr.net/publications/arboles-de-puerto-rico/eucalyptus-](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7rPBHgUkRrQJ:https://r)

[globulus/at_download/file+&cd=22&hl=es&ct=clnk&gl=co](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7rPBHgUkRrQJ:https://r)

Sotomayor, A; Helmke, E. y García E. (2002) Manejo y Mantenimiento de Plantaciones

Forestales *Pinus radiata Eucalyptus sp.* <https://docplayer.es/23495877-Manejo-y-mantencion-de-plantaciones-forestales.html>

Suarez, C. (2018). *Caracterización de Condiciones Edafoclimáticas y Manejo Silvicultural*

(Fertilización y Control de Malezas) de un Predio del Embalse, Vereda San Luis, del Municipio De Málaga, Departamento De Santander. (tesis de Pregrado).

Universidad Industrial de Santander.

Ticona, O. (2012). *Evaluación del eucalipto (Eucalyptus globulus), bajo el efecto de dos*

tratamientos pregerminativos y tres sustratos en la comunidad de Chumisa

(*Tacacoma - la Paz*) (tesis de Pregrado). Universidad Mayor de San Andrés.

Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/4446>

Ualde, J. (2015). *Extracción de nutrientes por plantaciones comerciales de diferentes edades*

de eucalyptus globulus labill en suelos de la zona este de Uruguay. (Tesis de pregrado). Universidad de La República, Montevideo Uruguay.

https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_FoISILdUNgJ:https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/8679+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co

Varela, R. y Bedoya, O. (2006). Modelo conceptual de desarrollo empresarial basado en competencias. *Universidad Icesi* Recuperado de

https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/198/html