

Diseño e implementación de un sistema silvopastoril en la finca El Pajal del municipio de
San Andrés

Wilmer Alexander Valero Rodríguez

Trabajo de Grado para Optar el título de
Ingeniero Forestal

Director
Rubén Carvajal Caballero
Ingeniero Agrónomo

Universidad Industrial de Santander
Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia- IPRED
Programa de Ingeniería Forestal
Málaga
2020

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado primeramente a Dios, quien me dio la capacidad para haber desarrollado y culminado mis estudios, a mis padres quienes me apoyaron en cada paso de este proceso, a mi esposa e hija que son el motor de mi vida, a mis tres hermanas que siempre me dieron una palabra de aliento, a mi querida amiga Yuri Andrea Joya, que sé que está orgullosa de mi donde quiera que esté y en general a toda mi familia compañeros y conocidos que me quisieron ver en lo más alto.

Agradecimientos

A Dios por permitirme cumplir una meta más en la vida, por darme la salud vida y licencia para haber desarrollado cada uno de los requerimientos necesarios en el cumplimiento de este estudio.

A mis padres Ilda Rodríguez Pedraza y Luis Enrique Valero Ortiz por la ayuda laboral, moral y económica que siempre me brindaron.

A mi director de tesis Ingeniero Rubén Carvajal Caballero por la colaboración y atención de cada una de las inquietudes presentadas.

A mi esposa Deisy Camila Joya Arenales por el trabajo y ayuda en el establecimiento del proyecto.

Al profesor Diego Suescún Carvajal en la colaboración de preguntas durante el desarrollo del proyecto.

A mi tía Nelly Rodríguez Pedraza y madrina Rosmira Pedraza por el apoyo moral y económico que siempre me brindaron.

A mis compañeros Cristian Camilo Camacho y Adriana Milena Herrera por la explicación, ayuda y motivación durante el desarrollo del proyecto.

Y en general a cada una de las personas que hicieron esto posible, familia, amigos, profesores, y conocidos.

Tabla de Contenido

Introducción.....	17
1 Objetivos.....	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos	19
2 Marco referencial	20
2.1 Marco histórico	20
2.2 Marco teórico.....	21
2.3 Marco legal.....	24
2.4 Marco conceptual	26
2.4.1 Sistema silvopastoril	26
2.4.2 Modelos de sistemas silvopastoriles.....	27
2.4.3 Interacción en los sistemas silvopastoriles.....	27
2.4.3.1 Interacción árbol- animal.....	28
2.4.3.2 Interacción árbol-pastura.....	28
2.4.3.3 Interacción árbol-suelo.....	28
2.4.1 Fertilización.....	29
2.4.2 Especies forestales aptas en un sistema silvopastoril.....	29
2.4.3 Descripción de las especies a emplear en el sistema silvopastoril	30

2.4.3.1 <i>Alnus acuminata</i>	30
2.4.3.2 <i>Acacia melanoxylon</i>	30
2.4.3.3 <i>Erythrina edulis</i>	31
3 Metodología	32
3.1 Localización.....	32
3.2 Descripción general de la zona del predio.....	35
3.2.1 Clasificación del suelo	35
3.2.2 Clasificación agrológica	36
3.2.3 Cobertura vegetal.....	37
3.2.4 Uso potencial de suelo.....	40
3.3 Material vegetal a emplear	41
3.4 Diseño y establecimiento del vivero	42
3.5 Colecta y selección de semillas	43
3.6 Tratamientos pregerminativos	44
3.7 Siembra de semillas.....	44
3.8 Riego	45
3.9 Trasplante de plántulas a bolsa.....	45
3.10 Caracterización y descripción de las condiciones edafológicas de la finca.....	45
3.10.1 Características y propiedades químicas del suelo	45
3.10.3 Características físicas del suelo.....	47
3.10.3.1 Perfiles del suelo.	47
3.10.3.2 Textura.	47

3.10.3.3 Estructura del suelo.	48
3.10.3.4 Infiltración del suelo.	51
3.11 Diseño del sistema silvopastoril	52
3.12 Fertilización y enmiendas aplicadas.....	52
3.13 Medición de variables morfológicas	52
3.13.1 Diámetro a la altura del cuello (Dac).....	52
3.13.2 Altura total (Ht)	52
3.13.3 Área de la copa	53
3.13.4 Índice de biomasa	53
3.14 Análisis estadístico	53
4 Resultados.....	54
4.1 Diseño del sistema silvopastoril	54
4.2 Plántulas en fase de vivero	55
4.3 Perfil del suelo	56
4.3.1 Textura.....	58
4.3.2 Estructura del suelo.....	60
4.3.3 Prueba de infiltración	62
4.4 Análisis químico del suelo	65
4.4.1 Análisis de pH	66
4.4.2 Análisis de conductividad eléctrica (CE).....	66
4.4.3 Análisis Materia Orgánica (MO).....	67
4.4.4 Análisis de Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo	68

4.4.5 Análisis de Fosforo disponible.....	68
4.5 Implementación del sistema silvopastoril.....	69
4.5.1 Trazado y Cercado	69
4.5.2 Preparación del terreno.....	69
4.5.3 Siembra de plántulas	70
4.5.4 Aplicación de enmiendas y Fertilización de plántulas	70
4.6 Plateo y poda:.....	72
4.7 Mortalidad de las especies en el establecimiento del sistema	72
4.8 Análisis de variables morfológicas	75
4.8.1 Diámetro a la altura del cuello (Dac).....	75
4.8.2 Altura total del tallo (Ht)	77
4.8.3 Área de la copa	79
4.8.4 Índice de biomasa	81
5 Discusión	83
6 Conclusiones	84
7 Recomendaciones	86
Referencias Bibliográficas	87
Apéndices	93

Lista de Tablas

Tabla 1	Descripción de la cobertura vegetal de la zona de estudio.....	39
Tabla 2	Tratamientos pregerminativos utilizados	44
Tabla 3.	Métodos utilizados en el análisis químico de suelo. CORPOICA.....	46
Tabla 4	Características para clasificar textura del suelo al tacto.	48
Tabla 5	Clasificación de la estructura del suelo por tamaño de agregados.....	49
Tabla 6	Clasificación de estructura del suelo por tipo de agregados.	49
Tabla 7	Clasificación de estructura del suelo por la resistencia de agregados.....	50
Tabla 8.	Clasificación de la estructura calicata 1	60
Tabla 9.	Clasificación de la estructura calicata 2	60
Tabla 10.	Promedio de velocidad de infiltración de cada una de las calicatas.	63
Tabla 11.	Resultado del análisis de suelo.	65
Tabla 12	Clasificación de conductividad eléctrica del suelo.....	67

Tabla 13. Clasificación de % de materia orgánica.	68
Tabla 14. Clasificación e interpretación de los análisis de fósforo.	69
Tabla 15. Número de plántulas sembradas en la implementación del sistema.	70
Tabla 16. Enmienda aplicada al terreno.	71
Tabla 17. Fertilizante aplicado al terreno.	71
Tabla 18. Manejo silvicultural.	72
Tabla 19. ANOVA. Diámetro a la altura del cuello.	75
Tabla 20. ANOVA. Altura total del tallo.	77
Tabla 21. ANOVA. Área de la copa.	79
Tabla 22. ANOVA. Índice de biomasa.	81

Lista de Figuras

Figura1 Ubicación de la zona del proyecto.	33
Figura2 Mapa de isoyetas de la zona de estudio.	34
Figura3 Mapa de clasificación del suelo del área de estudio.	36
Figura4 Mapa de clasificación agrologica del área de suelo.	37
Figura5 Mapa de coberturas vegetales del área de estudio.	38
Figura6 Coberturas vegetales de la zona. a) Pastos enmalezados con <i>Hypericum juniperinum</i> , b) al fondo bosque denso de tierra firme de <i>Quercus humboldtii</i> , c) fragmentación de bosque de <i>Quercus humboldtii</i> y d) arbustal de <i>Tibouchina lepidota</i>	40
Figura7 Mapa de uso potencial del suelo del área de estudio.	41
Figura8 Diseño del vivero temporal construido.	43
Figura9 Diseño del sistema silvopastoril.	55
Figura10 Porcentaje de mortalidad de semilla y/o plántulas trasplantadas.	56
Figura11 Observación de los horizontes a). Calicata 1 b). Calicata 2.	57

Figura12 Estimación de la pendiente en el terreno.	58
Figura13 Clasificación de textura al tacto calicata uno y calicata dos.	59
Figura14 a) Estructura calicata 1. b) Estructura calicata 2. c) Medida de agregados.	61
Figura15 Gráficas de descenso del nivel del agua calicata 1 y calicata 2.	62
Figura16 Gráfica de comparación de velocidad de infiltración de calicata 1 y calicata 2.	63
Figura17 Prueba de infiltración en campo. a) Llenado de agua en el hoyo 1. b) Llenado de agua hoyo 2.	64
Figura18 Gráfica de comparación de porcentaje total de mortalidad en las tres especies.	73
Figura19 Grafica de comparación de porcentaje de mortalidad en las tres especies por tiempo.	74
Figura20 Gráfico prueba Tukey para la variable Dac	76
Figura21 Gráfico de desarrollo del Dac de las especies.	77
Figura22 Gráfico prueba Tukey para la variable Ht.	78
Figura23 Gráfico de desarrollo de Ht de las especies.	78
Figura24 Gráfico prueba Tukey para la variable área de copa.	80

Figura25 Desarrollo del área de copa de las especies..... 80

Figura26 Gráfico prueba Tukey para la variable índice de biomasa. 82

Figura27 Gráfico de desarrollo del índice de biomasa de las especies. 82

Lista de Apéndices

Apéndice A. Visualización de datos en el programa R-Project.	93
Apéndice B. Tabla de valores para la variable <i>Dac</i>	93
Apéndice C. Tabla de valores para la variable <i>Ht</i>	94
Apéndice D. Tabla de valores para la variable área de copa.	94
Apéndice E. Tabla de valores para la variable índice de biomasa.	95
Apéndice F. Resultado TukeyHSD para la variable <i>Dac</i>	96
Apéndice G. Resultado TukeyHSD para la variable <i>Ht</i>	96
Apéndice H. Resultado TukeyHSD para la variable área de copa.	97
Apéndice I. Resultado TukeyHSD para la variable índice de biomasa.	97
Apéndice J. Análisis de suelos del predio.	98
Apéndice K. Paisaje del predio del proyecto.	100
Apéndice L. Afectaciones al bosque nativo.	100

Apéndice M. Etapa de vivero.	101
Apéndice N. Cercado, ahoyado.....	101
Apéndice O. Trasplante de las especies.....	101
Apéndice P. Fertilización y enmiendas.	101
Apéndice Q. Toma de datos de características edáficas.	101
Apéndice R. Tama de datos de las variables evaluadas.	101
Apéndice S. Poda y plateado de las especies.	101

Resumen

Título: Diseño e implementación de un sistema silvopastoril en la finca El Pajal del municipio de San Andrés.*

Autor: Wilmer Alexander Valero Rodríguez **

Palabras Clave: Adaptabilidad, especies fijadoras de nitrógeno, cerca viva.

Descripción: Los sistemas silvopastoriles son la respuesta a los problemas que han traído los manejos inadecuados de tierras destinadas a la ganadería y que buscan un uso sostenible de los recursos naturales aumentando la producción y rentabilidad de estas. En el presente trabajo se implementó un sistema silvopastoril de cerca viva en la vereda Santa Cruz municipio de San Andrés, ubicada en el bosque húmedo premontano a 2640 m s. n. m., suelo arenoso, altamente compactado, baja infiltración, fuerte a extremadamente ácido, con considerables restricciones en macroelementos y microelementos y baja capacidad de cambio catiónico. Con el fin de evaluar especies aptas con potencial para el desarrollo de sistemas silvopastoriles bajo las condiciones mencionadas anteriormente se implementaron tres especies fijadoras de nitrógeno *Alnus acuminata*, *Acacia melanoxylon* y *Erythrina edulis* en aproximadamente 1090 m lineales con un distanciamiento de 2,50 m de planta a planta, se evaluó variables de diámetro a la altura del cuello (Dac), altura total (Ht), área de copa e índice de biomasa. Para ello, se sometieron los datos a un análisis de varianza y posteriormente se empleó la prueba de Tukey donde se identificó diferencias significativas de cada una de las variables de las tres especies, el Dac, la Ht y el área de copa muestran diferencias significativas entre las tres especies, con un mayor desarrollo en el *Alnus acuminata* y *Acacia melanoxylon*, mientras el índice de biomasa no presentó diferencias significativas en estas dos especies pero sí en la *Erythrina edulis* la cual tuvo un desarrollo bajo en cada una de las variables, de esta manera se muestra que la mejor adaptabilidad para estos suelos y condiciones climáticas es el *Alnus acuminata* seguida de la *Acacia melanoxylon* y con un bajo potencial de desarrollo la especie *Erythrina edulis*.

* Trabajo de Grado

** Instituto de Proyección Regional y de Educación a Distancia IPRED. Programa de Ingeniería Forestal.
Director: Rubén Carvajal Caballero, Ingeniero Agrónomo.

Abstract

Title: Design and implementation of a silvopastoral system on the farm El Pajal of the municipality of San Andrés.*

Author: Wilmer Alexander Valero Rodríguez**

Key Words: Adaptability, nitrogen-fixing species, live fence.

Description: Silvopastoral systems are the answer to the problems that have brought inadequate land management for livestock and that seek a sustainable use of natural resources by increasing the production and profitability of livestock. In the present work was implemented a silvopastoral system of live fence in the sidewalk Santa Cruz municipality of San Andrés, located in the premontane wet forest at 2640 m s. n. m., sandy soil, highly compact, low infiltration, strong to extremely acidic, with considerable restrictions in macroelements and microelements and low capacity of cationic change. In order to evaluate species suitable for the development of silvopastoral systems under the above conditions, three nitrogen-fixing species *Alnus acuminata*, *Acacia melanoxylon* and *Erythrina edulis* were implemented at approximately 1090 m linear with a distance of 2.50 m from plant to plant, were evaluated variables of diameter at neck height (Dac), Total height (Ht), cup area and biomass index for this purpose the data were subjected to a variance analysis and subsequently the Tukey test was used where significant differences were identified from each of the variables of the three species, Dac, Ht and the cup area show significant differences between the three species, with greater development in the *Alnus acuminata* and *Acacia melanoxylon*, while the biomass index showed no significant differences in these two species but in the *Erythrina edulis* who had a low development in each of the variables, thus showing that the best adaptability for these soils and climatic conditions is the *Alnus acuminata* followed by the *Acacia melanoxylon* and with a low development potential the species *Erythrina edulis*.

* Degree Work.

** Instituto de Proyección Regional y de Educación a Distancia IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Rubén Carvajal Caballero, Ingeniero Agrónomo.

Introducción

La deforestación es uno de los principales causantes que contribuyen al problema de calentamiento global, principalmente en los bosques tropicales; la pérdida de la cobertura boscosa natural aumenta cada vez más las emisiones de dióxido de carbono CO₂ (Moutinho et al., 2005), además, el deterioro de los suelos ha sido un efecto de la depredación de los bosques, que durante el transcurso del tiempo se ha venido presentando, bosques que son destruidos para actividades agrícolas y que posteriormente en dos o tres años cuando pierden su fertilidad y propiedades son destinados a pastizales, dejando suelos estériles erosionados y totalmente descubiertos que conllevan a grandes problemas de degradación. En Latinoamérica se denota con mayor fuerza estos cambios de cobertura, pues entre 1990 y 2000 se produjo una transformación de la cobertura forestal en explotación agrícola permanente por encima del 45% y que en el caso de Colombia se calculó que entre el 2000 y 2010 del total de las zonas deforestadas más del 60 % son destinadas a pastizales (FAO, 2010), en efecto surgen nuevas formas de producción agropecuarias que han llevado al desarrollo de innovadores sistemas productivos que aumentan el rendimiento por área en el manejo de estos sectores, donde además de mejorar la producción, tienen la capacidad de amortiguar los problemas medio ambientales que conlleva estas actividades y que buscan restablecer sitios degradados e improductivos resultado de laboreos tradicionales de tala rasa y quema de los bosques del país para la expansión agropecuaria, principalmente para la ganadería extensiva (Ojeda et al., 2003). Así mismo, Vallejo (2013) sugiere que los sistemas silvopastoriles son considerados una alternativa útil para implementar el desarrollo de la ganadería sostenible, puesto que con estas prácticas se desea proporcionar forraje a los animales, promover la recuperación en la fertilidad de los suelos, control de erosión,

protección de fuentes hídricas y ayudar en los procesos de recuperación de ecosistemas; sin embargo, en zonas muy degradadas y suelos extremadamente ácidos carentes de nutrimentos, se es muy difícil el establecimiento y manejo de especies vegetales con alta productividad y que su adaptación sea satisfactoria, para esto, el manejo de especies fijadoras de nitrógeno (leguminosas y actinorrizas) son una buena alternativa en el manejo de estos sitios; la asociación simbiótica de microorganismos del genero *Rhizobium* y *Frankia* permiten la fijación del nitrógeno atmosférico que no es asimilable para las plantas, además ayudan a la absorción de agua y el aprovechamiento de los nutrientes del suelo, entre otros beneficios (Wall & Ferrari, 2004). Por consiguiente, el proyecto busca la implementación de un sistema silvopastoril en una finca cerca de un bosque de roble fragmentado, ubicada en un suelo con grandes limitantes de pH y fertilidad; para esto, se busca establecer una estratificación arbórea como cerca viva de *Alnus acuminata*, *Acacia melanoxylon* y *Erythrina edulis*.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema silvopastoril en la finca El Pajal de la vereda de Santa Cruz.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar condiciones edafológicas e hidrológicas del predio.
- Implementar especies utilizadas en recuperación de suelos y obtención de biomasa para forraje.
- Evaluar características morfológicas de cada una de las especies del sistema silvopastoril.

2 Marco referencial

2.1 Marco histórico

Los sistemas agroforestales en América tropical a pesar de no tener registros históricos evidentes, se dice que en la época ancestral donde predominaba la diversidad cultural y ecológica se aplicaban en cierta manera, y fue solo hasta la llegada de los colonizadores que empezó una transformación acelerada de la cubierta vegetal (Ospina, 2008), cambios significativos en sus coberturas naturales especialmente en los bosques; desde su colonización por los españoles y portugueses se produjeron grandes alteraciones donde implementaron sistemas de producción agrícola extensiva además de vastas áreas con monocultivos para fines de exportación (Chonchol, 1994).

En Colombia se manifiesta el deterioro de los bosques naturales a causa de una deforestación masiva que como lo indica el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) en su informe anual, el detrimento en estos bosques alcanza una cifra crítica de 219.973 ha para el 2017, esto significaría un aumento del 23% a comparación del año inmediatamente anterior con una cifra que alcanzó los 179.000 ha deforestadas, las principales causas de esta depredación sería la minería ilegal, seguida de la expansión agrícola particularmente la gradería extensiva y el crecimiento de áreas para cultivos ilícitos, además se demuestra que las regiones más afectadas son la Amazonia con un 65,5% y la región Andina con un 17% de superficie deforestada, al mismo tiempo revelan que el 85% de la pérdida de bosque natural ocurrió para este mismo año principalmente en seis departamentos entre los que se encuentra Santander.

2.2 Marco teórico

El diseño de sistemas alternativos para el sector agropecuario enfocado a un desarrollo sustentable cada vez se hace más necesario; además, teniendo en cuenta que Colombia se encuentra ubicado en el trópico, donde los suelos expuestos a zonas abiertas sufren una mayor degradación y erosión, esto por cuenta de la frecuencia, cantidad y duración de lluvias. Al considerar que en esta zona los bosques son los principales reservorios y almacenamiento de nutrientes y al no estar, traen consigo una serie de inconvenientes tales como compactación, encharcamientos, escorrentías superficiales y por ende el lavado de nutrientes, llevan al deterioro de los suelos, pérdida de actividad biológica, pérdida de biodiversidad en plantas y microorganismos entre otros problemas (López, 2002; Putty, 2017). Es así, como se hace un alto y se empieza a mirar a otras formas de productividad agrícola en donde se pueda optimizar los recursos que se tienen en las zonas y a mejorar la producción de alimento tanto para el hombre como para los animales con una mayor calidad y rentabilidad, además de hacer un mejor uso del suelo para su conservación a largo tiempo (Uribe, 1996).

Los sistemas silvopastoriles ofrecen una serie de ventajas al establecerlos en zonas de pasturas abiertas, zonas degradadas en donde las prácticas tradicionales conllevan a una pérdida total de la cobertura arbórea y en el que se establecen monocultivos de pastos poco productivos que no ofrecen una dieta nutritiva a los animales, llevando a pérdidas económicas en el tiempo, además de no estar aprovechando el potencial del recurso suelo (Crespo, 2008; Del Pozo, 2019).

La interacción de componentes tales como suelo, árbol, pasto y ganado hace de este un sistema que optimiza al máximo los recursos necesarios para el desarrollo de cada uno de ellos,

es así como el sistema silvopastoril es un sistema complejo, pero sobretodo muy dinámico que ofrece diversos beneficios, entre los más conocidos y mencionados son:

- Sirven de cortinas rompevientos.
- Regulación de temperatura dentro del sistema.
- Fijación de Nitrógeno atmosférico al suelo en algunas especies.
- Disminución de la escorrentía superficial.
- Mejora infiltración del agua lluvia.
- Evita erosión del suelo y por ende ayuda a su conservación.
- Conserva la biodiversidad ya que se convierte en habitat de muchas especies de animales y con el aporte de sus hojas o ramas en descomposición a la diversidad de microorganismos que activan la actividad biológica del suelo.
- Se tiene una mayor fuente de alimento para los animales aun en los tiempos de sequía gracias al follaje y frutos del estrato arbóreo.
- Mejora la productividad de la finca y rentabilidad económica, ya que se puede extraer madera, leña, postes, frutos, taninos, forraje, etc.
- Hay mayor captura de dióxido de carbono.
 - Aporta materia orgánica al suelo.

Estas y muchas más ventajas, hacen de este sistema una herramienta eficaz en la productividad agrícola ligada a un desarrollo productivo sustentable (Toruño et al., 2015); sin embargo, Arciniegas y Flórez (2018), enuncia que estos sistemas también pueden traer desventajas como:

- Competencia de luz entre las especies arbóreas y gramíneas o herbáceas.

- Competencia de nutrientes y agua entre las especies.
- Problemas de sustancias alelopáticas que traen problema en el crecimiento y desarrollo de las gramíneas o herbáceas.
- Ramoneo y daños de los animales que están dentro del sistema a las especies arbóreas o arbustivas.
- Pueden llegar a ser un foco de enfermedades y plagas al establecerse especies llamativas para estos vectores.

Los procesos agroecológicos que sustentan la actividad pecuaria dentro de los sistemas silvopastoriles van de los múltiples estratos utilizados en este: pastizales, especies herbáceas y arbustivas, en donde interactúan y maximizan la distribución espacial en el terreno, así mejoran la productividad y llevan a generar ganancias económicas especialmente de leche y carne, pues se considera que bajo un sistema silvopastoril intensivo puede aumentar la carga animal de hasta cuatro veces el obtenido en la actividad ganadera tradicional (Montagnini et al., 2015).

Al establecer los sistemas silvopastoriles se busca los mayores beneficios posibles, en caso de tierras degradadas sometidas a pastizales a cielo abierto, el propósito de este sistema es la restauración del suelo, por esto se eligen especies capaces de hacer este trabajo, como el caso de las especies fijadoras de nitrógeno que logran atrapar el nitrógeno presente en la atmósfera y fijarlo al suelo por medio de bacterias ubicadas en la raíz de la planta y que la hace disponible a otras (Uribe, 1996).

Para diseñar y establecer un sistema silvopastoril se tiene en cuenta aspectos importantes, tales como: la elección y disponibilidad del material vegetal a emplear teniendo en cuenta la finalidad al que se quiere llegar, así mismo disponibilidad del terreno y de esta manera se selecciona un modelo adecuado que se ajuste a la implementación del sistema (FAO, 2015).

2.3 Marco legal

Decreto 1791 de 1996 (octubre 04) Ministerio del Medio Ambiente por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.

Artículo 70. A partir de la vigencia del presente decreto, toda plantación forestal, cerca viva, barreras rompevientos, de sombríos o plantación asociada a cultivos agrícolas deberán registrarse ante la Corporación en cuya jurisdicción se encuentre, para lo cual el interesado deberá presentar por escrito a la Corporación, por lo menos los siguientes documentos e información:

- a) Nombre del propietario. Si se trata de persona jurídica debe acreditar su existencia y representación legal
- b) Ubicación del predio, indicando la jurisdicción departamental, municipal y veredal, donde está situado.
- c) Área o km de cerca viva y nombre de las especies plantadas.
- d) Año de establecimiento.

El registro se realizará mediante providencia, previa visita y concepto técnico

Parágrafo. El Plan de Establecimiento y Manejo Forestal, presentando por el beneficiario del certificado del Incentivo Forestal (CIF) servirá para las corporaciones efectúen el registro de la plantación

Artículo 71. Para aprovechar una plantación forestal, arboles de cercas vivas, de barrera rompevientos, de sombríos o plantación forestal asociada a cultivos agrícolas con fines comerciales se requiere, como mínimo, la presentación de los siguientes requisitos y documentos.

- a) Si la plantación está ubicada en propiedad privada, copia de la escritura de propiedad del predio y certificado de libertad y tradición con una fecha de expedición no mayor a tres meses, contrato de arrendamiento o calidad del tenedor. Si el interesado en aprovechar la plantación no es el mismo propietario del predio deberá allegar autorización reciente otorgada por éste.
- b) Sistemas o métodos de aprovechamiento.
- c) Extensión del área a intervenir y volumen de las especies a aprovechar.

Parágrafo. Quien realice el aprovechamiento quedará sujeto a las previsiones relativas a la protección de los demás recursos naturales renovables y del ambiente

. **Artículo 75.** Los salvoconductos para la movilización, renovación y removilización de productos del bosque natural, de la flora silvestre, plantaciones forestales, arboles de cercas vivas, barreras rompevientos, de sombrío, o plantaciones forestales asociadas a cultivos agrícolas, deberán contener:

- a) Tipo de salvoconducto (movilización, renovación y removilización).
- b) Nombre de la autoridad ambiental que lo otorga.
- c) Nombre del titular del aprovechamiento.
- d) Fecha de expedición y vencimiento.
- e) Origen y destino final de los productos.
- f) Número y fecha de la resolución que otorga el aprovechamiento.
- g) Clase de aprovechamiento.
- h) Especies (nombre común y científico), volumen en metros cúbicos (m³), cantidad (unidades) o peso en kilogramos o toneladas (Kgs o Tons) de los productos de bosques y/o flora silvestre amparados.

- i) Medio de transporte e identificación del mismo.
- j) Firma del funcionario que otorga el salvoconducto y del titular.

Cada salvoconducto se utilizará para transportar por una sola vez la cantidad del producto forestal para el cual fue expedido.

Artículo 76. Cuando se pretenda aprovechar comercialmente una plantación forestal, árboles de cercas vivas, barreras rompevientos, de sombrío, o plantaciones forestales asociadas a cultivos agrícolas, el titular del registro de la plantación o su representante legal podrá solicitar por escrito a la respectiva Corporación la cantidad de salvoconductos que estime necesarios para la movilización de los productos que el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural INCODER, tiene como objeto fundamental el de ejecutar la política agropecuaria y de desarrollo rural del país, facilitar el acceso a los factores productivos, fortalecer a las entidades territoriales, sus comunidades y propiciar la articulación de las acciones institucionales en el medio rural, la cual comprende lo relativo al subsector de adecuación de tierras , en la ejecución de proyectos de obras, la administración, la operación, el funcionamiento y la conservación de los distritos de adecuación de tierras en el país, de acuerdo con lo establecido en su decreto de creación No 1300 de 2003, en su artículo 2° como por el decreto 3759 de 2009 en su artículo 2° por el cual se aprueba la modificación de la estructura del instituto.

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

2.4 Marco conceptual

2.4.1 Sistema silvopastoril

El sistema silvopastoril es la combinación de especies de árboles, arbustos o palmas perennes con especies gramíneas, herbáceas y animales, donde interactúan en un mismo sitio o área, haciéndola más productiva y rentable para la actividad ganadera, es el mejoramiento de prácticas agrícolas tradicionales donde el propósito principal es la producción de follaje para forraje de los animales, además de la producción de otros productos como madera, leña, postes, frutos, entre otros (Toruño et al., 2015).

2.4.2 Modelos de sistemas silvopastoriles

Los modelos que se implementan dentro de un sistema silvopastoril van de acuerdo a la finalidad, características topográficas, disposición de terreno, mano de obra y capital entre otras (Pezo y Ibrahim, 1999; FAO, 2015). Si bien, la variedad de modelos que existen son numerosos, las principales y las más empleadas son:

- a) Cercas vivas.
- b) Árboles dispersos.
- c) Banco de proteínas.
- d) Leñosas perennes en callejones.
- e) Cortinas rompevientos.
- f) Pastoreo en plantaciones de árboles maderables o frutales.

2.4.3 Interacción en los sistemas silvopastoriles

La interacción dentro de un sistema silvopastoril es la relación en que los componentes como es árbol-pastizal-suelo-animal, comparten simultáneamente un mismo sitio, sacando los mayores beneficios posibles; la intensidad de la interacción se hace más fuerte cuando se

involucran todos componentes (Ojeda et al., 2003). Aun así, puede interactuar dos de ellos intermediadas por un tercero.

2.4.3.1 Interacción árbol- animal. Cabe resaltar que estas interacciones son recíprocas, pueden presentar efectos positivos o negativos; para el primer caso se dice que es positiva cuando por ejemplo el árbol ofrece sombra, forraje o frutos a los animales, pero también puede ser ésta una interacción negativa cuando por ejemplo los animales provocan daños físicos a los árboles, problemas en corteza o sobre pastoreo en rebrotes (Borel, 1989).

2.4.3.2 Interacción árbol-pastura. En la interacción árbol-pastura las relaciones que se presentan también pueden generar algunos inconvenientes tales como competencia en agua, nutrientes, luz solar y problemas alelopáticos, por ello es indispensable tener un conocimiento referente a las especies arbóreas y gramíneas que puedan tener una buena interacción y que estos problemas mencionados se conviertan en competencias sanas donde hallan más beneficios como en ciclaje de nutrientes, protección contra heladas, fijación de nutrientes, entre otros (Ojeda et al., 2003).

2.4.3.3 Interacción árbol-suelo. Para un sistema silvopastoril la relación que existe entre árbol – suelo es la interacción más beneficiosa; ya que los árboles aportan hojarasca y con esto materia orgánica, reducen la escorrentía superficial, mejora la infiltración del agua, evita erosión del suelo, mejora porosidad y aireación del suelo, entre muchos otros, además el suelo le aporta al árbol los nutrientes necesarios para su desarrollo apropiado (Ibañez et al., 2004; Toruño et al., 2015).

2.4.1 Fertilización

Es indispensable un plan de fertilización en plantaciones forestales del trópico, ya que por lo general la alta acidez de los suelos es una característica que predomina en estas zonas, por ello, la disponibilidad de los nutrientes es muy pobre, la alta toxicidad del aluminio limita el cambio catiónico quien hace que los nutrientes sean aprovechables para la planta, por esto el aporte de nutrientes tanto en fertilizantes químicos como en orgánicos juegan un papel muy importante para el adicionamiento de tanto macroelementos como microelementos que carecen en el suelo, de la misma manera se tiene en cuenta la aplicación de enmiendas que ayuden a incrementar el pH del suelo ayudando a ser más efectiva y aprovechable la fertilización realizada (Rojas, 2015).

2.4.2 Especies forestales aptas en un sistema silvopastoril

La aptitud de una especie forestal dentro de un sistema silvopastoril varía de acuerdo al objetivo y a la finalidad que se le quiere dar a dicha especie, además de las condiciones climáticas y edáficas que ofrezcan la zona para su desarrollo; sin embargo, se tienen en cuenta características importantes tales como la facilidad de reproducción de rebrotes para la utilización del follaje en la producción permanente de forrajes, abonos, leña y demás, también se busca la producción simultanea de otros subproductos como madera, frutos, taninos, etc. Otra de las características primordiales es la que le brinde nutrición al suelo y mejore el crecimiento y valor nutritivo de la estratificación herbácea o gramínea deseada en el sistema, para esto la utilización de especies fijadoras de nitrógeno idóneas en la recuperación de suelos altamente degradados, aunque se debe tener en cuenta la limitante de acidez del suelo (Budowski, 1979; Muñoz et al., 2013).

2.4.3 Descripción de las especies a emplear en el sistema silvopastoril

La elección de las especies se hace a partir de la revisión de literatura y se consideran tres especies fijadoras de nitrógeno aptas para la restauración de praderas que son capaces de adaptasen en suelos de baja fertilidad; especies forestales como *Alnus acuminata*, *Acacia melanoxylon* y *Erythrina edulis*.

2.4.3.1 *Alnus acuminata*. Especie de la familia Betulaceae, tiene diferentes nombres comunes según la zona o cultura en que se encuentre, los más usuales son Aliso, Chaquiro, Fresno o Cerezo; corteza lisa, altura aproximada de 20 m con ramificaciones a los 2 m de altura aproximadamente, forma de la copa ovalada, hojas de color verde brillante y en el envés verde claro con borde aserrado, frutos de color pardos en forma de cono o piña, su distribución geográfica va desde las regiones montañosas de México hasta el norte de Argentina y en Colombia se encuentra presente en las tres cordilleras, entre los 1700 y 3200 m s. n. m., la madera aunque presenta baja durabilidad se maneja mucho en carpinterías, ya que se impregna fácilmente puede preservarse para la obtención de postes, elaboración de muebles decorativos, gabinete, puertas, ventanas entre otros, en cuanto su desarrollo, tolera suelos ácidos con pH 4,5 a 6,0, húmedos pero bien drenados que varían dese cascajosos y arenosos hasta arcillosos por sus ventajas de ser una especie fijadora de nitrógeno es ideal para sistemas silvopastoriles mostrando buenas respuestas con densidades aptas (Ospina et al., 2005; Bartholomaeus et al., 1998).

2.4.3.2 *Acacia melanoxylon*. Especie de la familia Mimosaceae, recibe nombres comunes como acacia japonesa, acacia negra o acacia australiana, árbol con corteza de aspecto agrietado y escamoso, alcanza alturas de hasta 20 m, esta especie en ramas o plántulas jóvenes las hojas son bipinnadas pero cuando son adultas se reemplazan sus hojas por filodios, flores de

color crema dispuestas en racimos, en donde sus frutos están en vainas enroscadas, aunque la especie es originaria de Australia, en Colombia se adapta muy bien en altitudes entre los 2000 y 2800 m s. n. m., aunque prefiere suelos con húmedos, bastante materia orgánica y bien desarrollados son resistentes en suelos pobres y arcillosos, son especies heliófilas, dentro de un sistema silvopastoril son fijadoras de nitrógeno, controlan la erosión, ayudan a la recuperación de suelo y su madera sirve para leña y postes (Corpoboyacá, 2012)

2.4.3.3 *Erythrina edulis*. Es una especie muy reconocida por sus múltiples utilidades y beneficios, de la familia Fabaceae, posee distintos nombres comunes como chachafruto, balú, baluy, chachaporuto, frijol mompás, sachafruto, porotro, entre otros, nombres según las regiones en que se encuentre, árbol con altura promedio de 8 m aunque rara vez pueden alcanzar alturas de hasta 14 m, posee espinas en las ramas y en el caso de individuos jóvenes también en el fuste, sus hojas alternas pinnadas con tres folíolos de color verde claro y en la floración generalmente las dejan caer, flores de color rojo carmín que en la madurez se convierten en legumbres, proceso que puede durar aproximadamente 65 días, se desarrolla bien en pisos altitudinales que están entre los 1200 y 2600 m s. n. m. con requerimientos de lluvias entre los 1500 a 2000 mm al año, prefiere suelos no tan ácidos y no tolera periodos muy secos extensos, juega un papel muy importante en la incorporación de nuevos sistemas agrícolas gracias a sus múltiples beneficios como especie fijadora de nitrógeno, alta proteína en sus frutos y hojas ideales para establecimiento de sistemas agrosilvopastoriles o en densidades altas para banco de proteínas (Acero, 2002; Ataroff y Sarmiento, 2003)

3 Metodología

3.1 Localización

El proyecto se llevó a cabo en la finca El Pajal de la vereda Santa Cruz del municipio de San Andrés, Santander, entre las coordenadas $6^{\circ}43'29,874''$ N y $72^{\circ}49'10,110''$ W ver (Figura1). El predio se encuentra ubicado a unos 2640 m s. n. m, con precipitación calculada a partir de isoyetas que fluctúa entre los 1600 y 1640 mm anual ver (Figura2), donde la zona de vida según Holdridge pertenece a bosque húmedo montano bajo (bh-MB) comprende un área y perímetro aproximadamente de 3,70 ha y 813 m, respectivamente. Para llegar a este, se toma el desvío en el kilómetro 25 entre la vía Málaga - Curos y allí se avanza aproximadamente 2 km por la carretera terciaria de la vereda Santa Cruz, donde posteriormente se toma un camino a cinco minutos de la finca.

La finca se encuentra cerca de un bosque de roble fragmentado que ha sido altamente afectado por las prácticas agrícolas y pecuarias de la zona, pese a esto se cuenta con buenas fuentes hídricas que afloran en este sector.

Figural

Ubicación de la zona del proyecto.

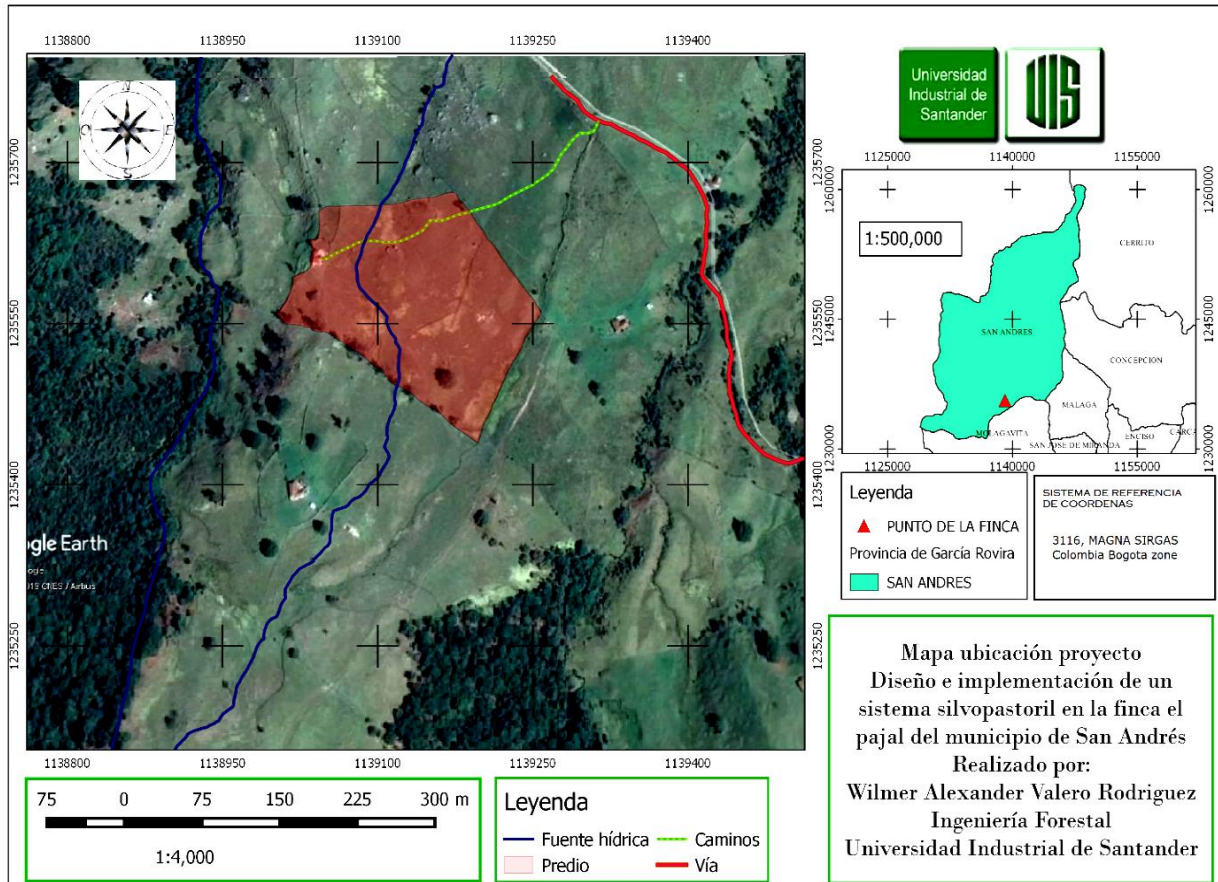
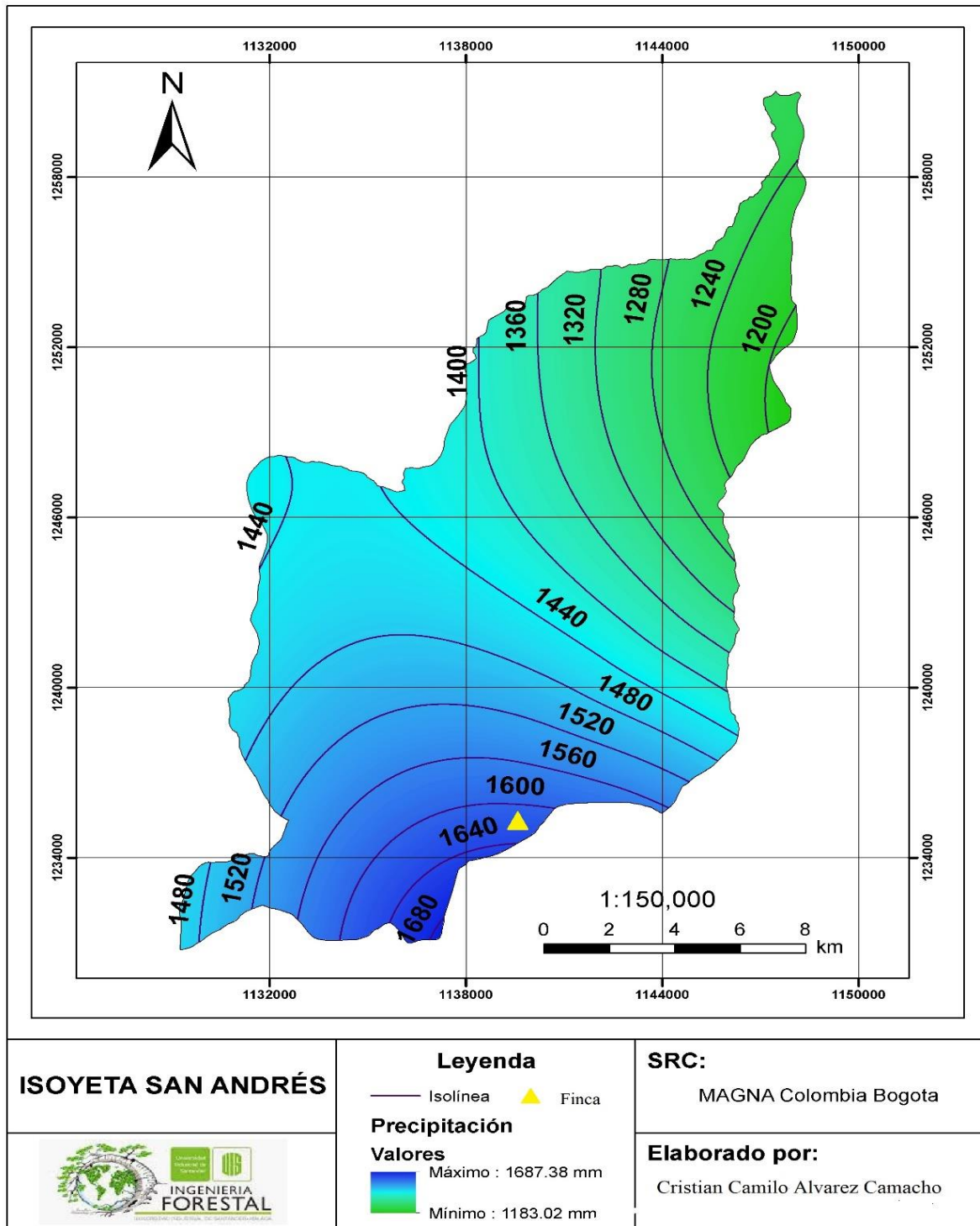


Figura2

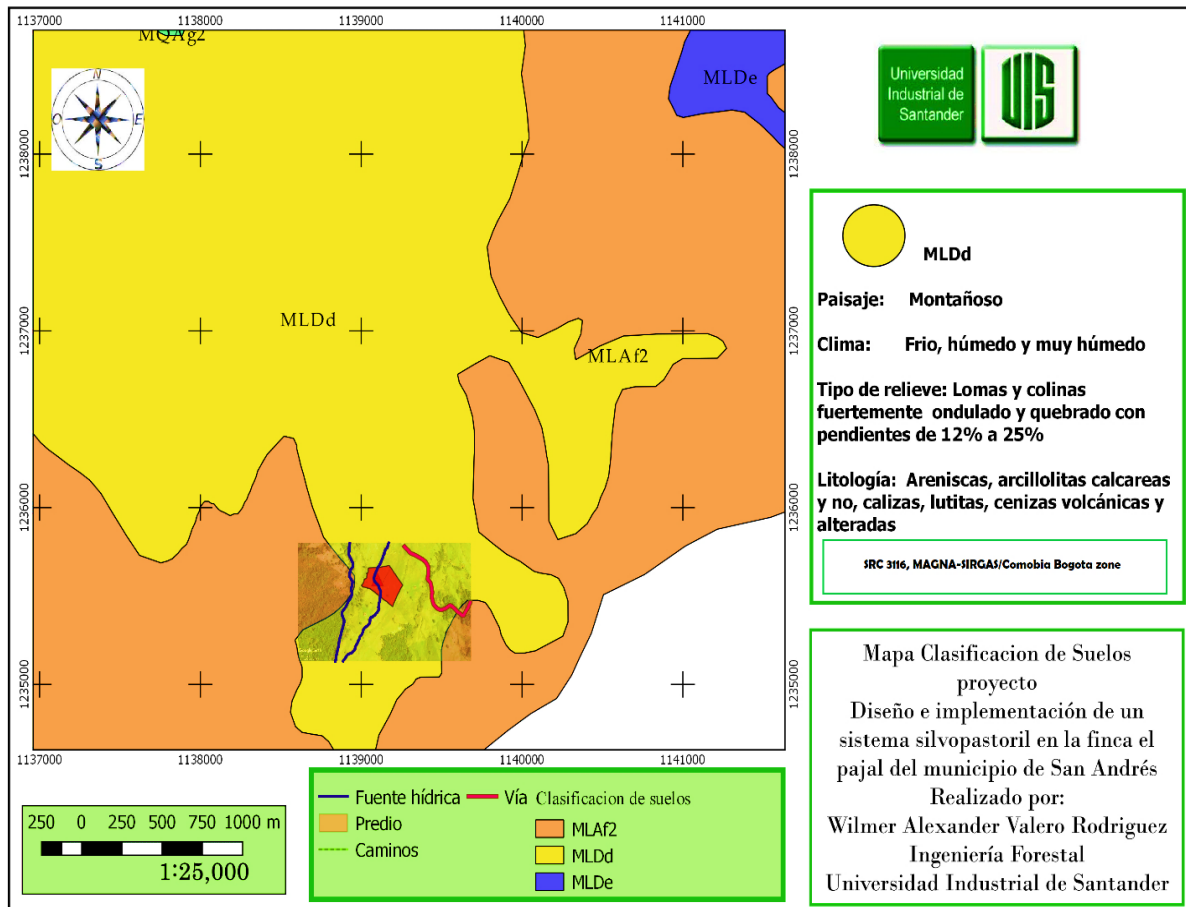
Mapa de isoyetas de la zona de estudio.



3.2 Descripción general de la zona del predio

3.2.1 Clasificación del suelo

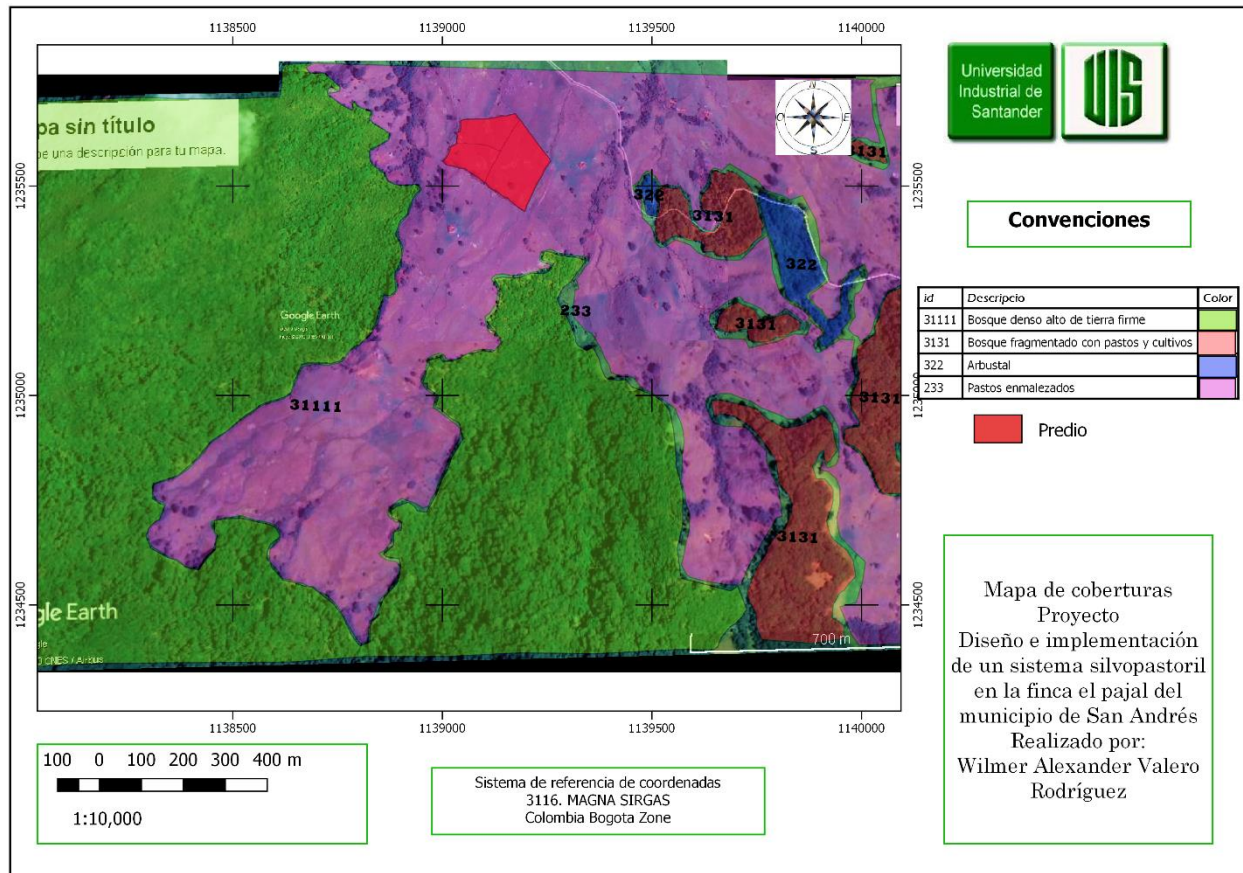
La clasificación del suelo se hace describiendo en forma general este recurso, para ello se utiliza el mapa de clasificación del suelo del IGAC y adicionalmente se hizo una observación en campo, como se muestra en la Figura3 la unidad de estudio se encuentra dentro de la clasificación de MLDD lo que indica que está dentro de un paisaje montañoso con clima frío, puesto que como señala Jaramillo, (2002) para una altitud de 2000 a 3000 m s. n. m. el piso climático pertenece a frío, posee un tipo de relieve de lomas y colinas fuertemente ondulado con pendientes de la zona de 12% a 25% su litología según la clasificación es de areniscas, arcillolitas calcáreas, calizas, lutitas cenizas volcánicas y alteradas, dominando mayormente las areniscas en el área de estudio.

Figura3*Mapa de clasificación del suelo del área de estudio.*

3.2.2 Clasificación agrológica Se utiliza la metodología del IGAC, quien propone ocho clases para describir la productividad y el desarrollo agropecuario del lugar de estudio, esta clasificación se representa con números romanos y subclases simbolizados con subíndices que señalan limitantes de la tierra. El predio se encuentra clasificado dentro del grupo IVs-1 que se

Figura5

Mapa de coberturas vegetales del área de estudio.



De esta manera se logra así reconocer las distintas coberturas del área y posteriormente haciendo una confirmación en campo. A lo anterior el resultado analizado se describe en la Tabla

1.

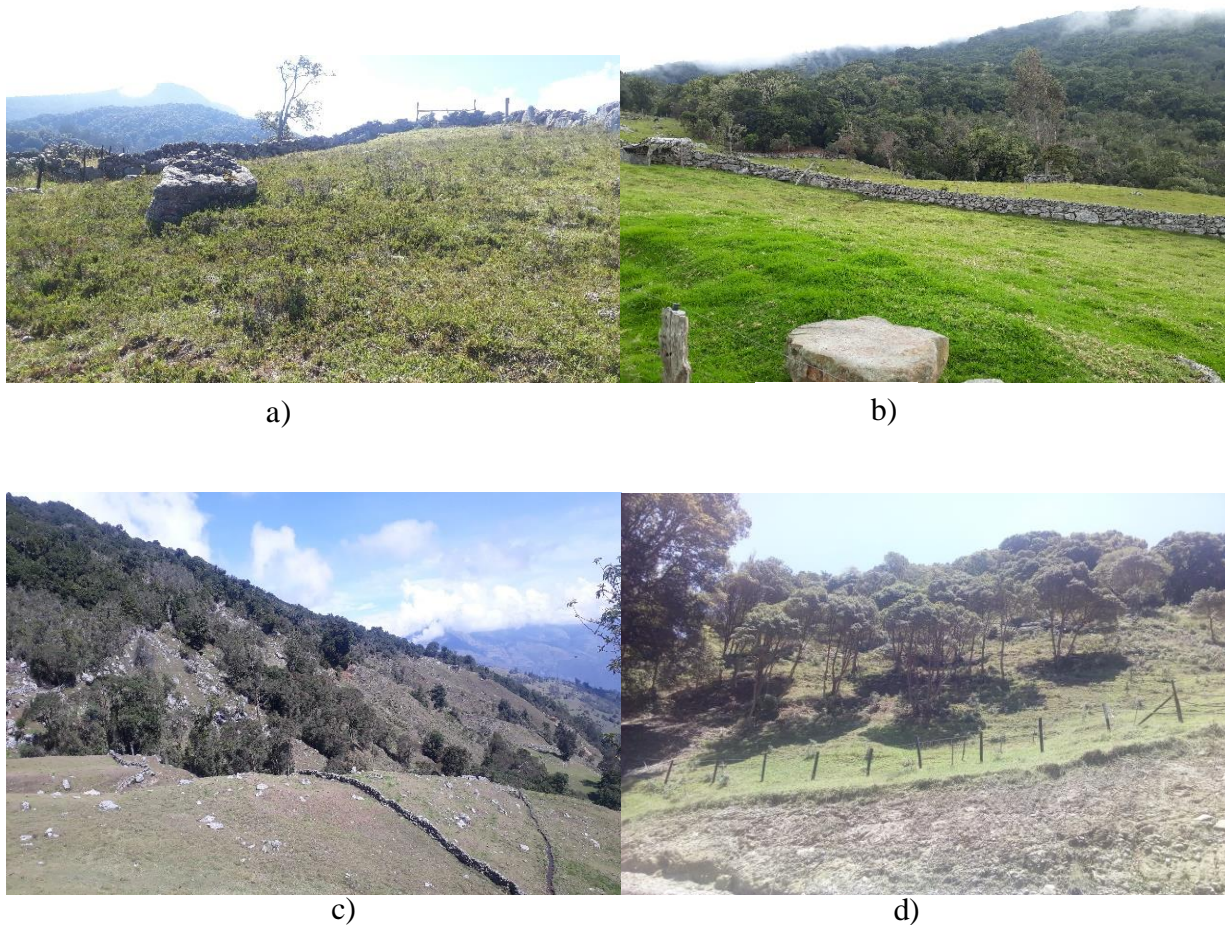
Tabla 1

Descripción de la cobertura vegetal de la zona de estudio.

Código	Leyenda	Descripción en el área de estudio
3.1.1.1.1	Bosque denso alto de tierra firme.	Se reconoció un bosque de <i>Quercus humboldtii</i> (roble) con estrato más o menos continuo y dosel superiores a 15 m, además no presenta inundaciones en ningún tiempo del año.
3.1.3.1	Bosque fragmentado con pastos y cultivos.	En la zona se hallan bosque de <i>Quercus humboldtii</i> (roble) que han sido fragmentado, debido a la acción del hombre que tiempo atrás establecieron cultivos pero actualmente son potreros de bajo rendimiento.
3.2.2	Arbustal.	Dentro del área de estudio se encuentran zona arbustal que se han desarrollado naturalmente preferiblemente cerca de los fragmentos de bosques, la especie más representativa es la <i>Tibouchina lepidota</i> (siete cueros) con una fácil reproducción en la zona.
2.3.3	Pastos enmalezados.	Es una de las coberturas más amplias de la zona y que en el caso del proyecto se ubica esta está en su totalidad, amplias zonas de pastizales en suelos con limitantes y que no han sido manejadas técnicamente llevando al bajo rendimiento de los pastos y el surgimiento de muchas especies vegetales no deseadas como <i>Hypericum juniperinum</i> (romero blanco), <i>Pteridium aquilinum</i> (helecho), entre otros.

Figura6

*Coberturas vegetales de la zona. a) Pastos enmalezados con *Hypericum juniperinum*, b) al fondo bosque denso de tierra firme de *Quercus humboldtii*, c) fragmentación de bosque de *Quercus humboldtii* y d) arbustal de *Tibouchina lepidota*.*

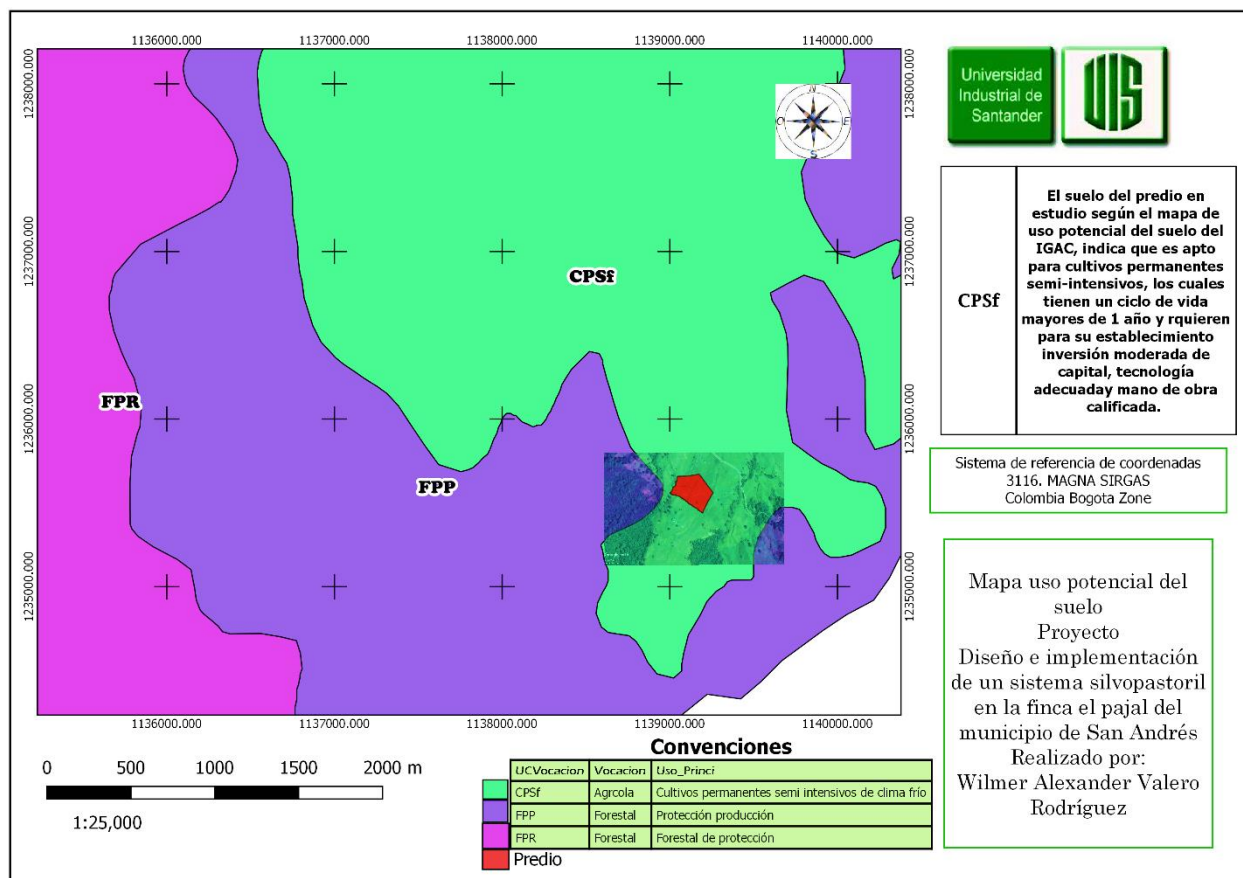


3.2.4 Uso potencial de suelo El uso potencial del suelo que sugiere el mapa del IGAC describe la zona del predio con uso de vocación CPSf, lo que refiere a que es apto para cultivos permanentes semi-intensivos con ciclos de vida mayores a un año y requieren para su establecimiento inversión moderada de capital, tecnología adecuada y mano de obra calificada, lo que contrasta

con los resultados del proyectos ya que el suelo presenta restricciones y que son importantes las debidas intervenciones con recursos calificados para garantizar su producción.

Figura7

Mapa de uso potencial del suelo del área de estudio.



3.3 Material vegetal a emplear

Para la obtención del material vegetal utilizado en la implementación del sistema silvopastoril se optó por la búsqueda de especies preferiblemente fijadoras de nitrógeno ya que el suelo de la zona presenta considerables limitantes en cuanto a pH como en nutrimentos. Por otro

lado, se consideró conveniente el establecimiento de un vivero temporal para la germinación, crecimiento y adaptabilidad de estas especies, además la recolección de semillas también se realizó en la zona, teniendo en cuenta unas características idóneas para la selección de árbol semillero.

3.4 Diseño y establecimiento del vivero

En el establecimiento del vivero el primer paso fue la definición de unas áreas específicas dentro de este, para los distintos trabajos y etapas de las semillas y plántulas; además se definieron unas dimensiones de cada una de estas de acuerdo a la cantidad de material vegetal que se reprodujo.

Las áreas tratadas fueron:

- Área de germinación

Es el área en donde se propaga la especie y está cubierta totalmente con plástico para aumentar la temperatura, posee un sistema de riego por aspersion donde se riega cada 4 horas para conservar la humedad del sustrato.

- Área de desarrollo y crecimiento

Para este caso y por motivos de costos y espaciamento se estableció dentro del germinador donde se conservan por un periodo de 15 días después del trasplante.

- Área de aclimatación

Se trasladan las plántulas a esta área después de los 15 días de trasplante, está cubierta con polisombra al 60% para que vaya adaptándose al lugar posee riego por aspersion.

- Área de rusificación

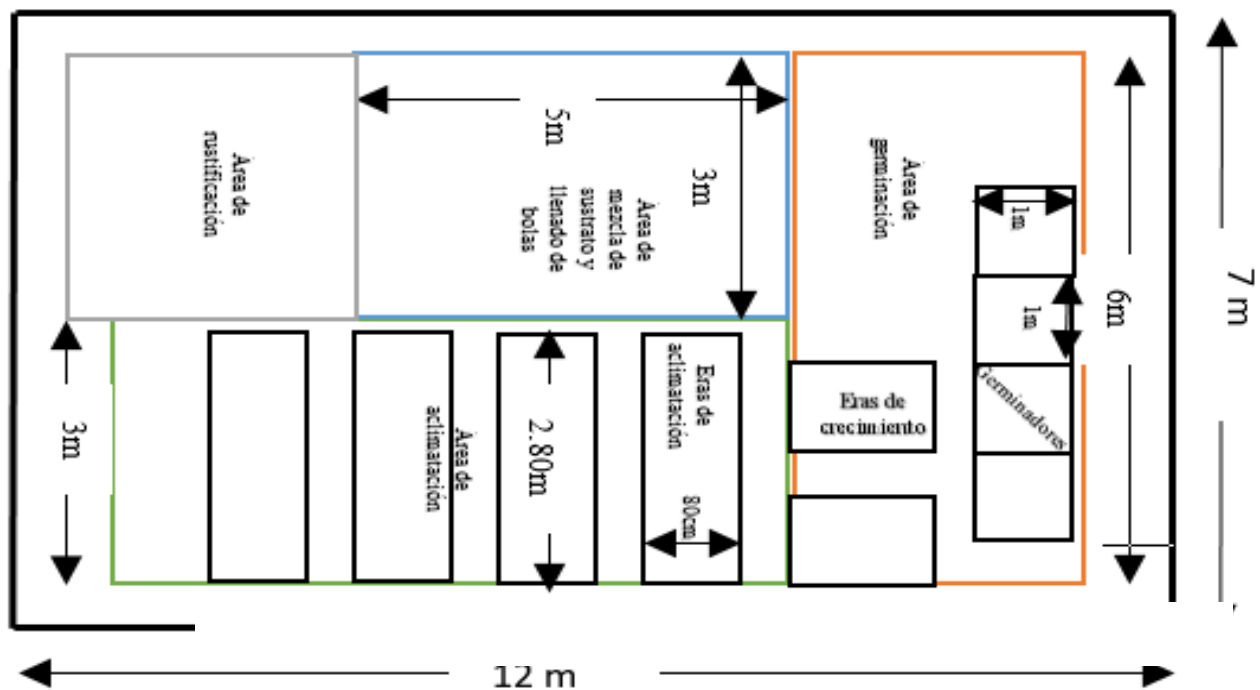
Área donde se trasladan las plántulas después de 2 meses, esta zona no posee cubierta alguna y se emplea para que la planta fortalezca sus hojas y tallo; contiene riego por aspersión manual.

- Área de mezcla de sustrato y llenado de bolsas

Área donde se lleva a cabo la mezcla de sustrato y llenado de bolsas está cubierta con plástico.

Figura8

Diseño del vivero temporal construido



3.5 Colecta y selección de semillas

Se recolectaron las semillas maduras con el cuidado de no dañarlas, para esto se seleccionaron arboles vigorosos con una buena sanidad y porte, estos individuos se escogieron

dentro de la misma región. Así mismo, para las semillas seleccionadas fueron las de mayor tamaño y el almacenamiento se hizo en un lugar fresco y seco protegido de la humedad para evitar la propagación de hongos.

3.6 Tratamientos pregerminativos

Los tratamientos realizados fueron con la finalidad de acelerar y mejorar la viabilidad de germinación, se utilizaron distintos métodos y se aplicaron según los requerimientos de la semilla de cada especie. En la Tabla 2 se visualiza los tratamientos utilizados para cada especie.

Tabla 2

Tratamientos pregerminativos utilizados

Especie	Tratamiento pregerminativo
<i>Acacia melanoxylon</i>	Agua hirviendo por 3 minutos y lijado de la cubierta
<i>Alnus acuminata</i>	Remojo en agua fría 24 horas
<i>Erythrina edulis</i>	Remojo agua fría 24 horas

3.7 Siembra de semillas

En este proceso se tomó en cuenta principalmente el tamaño de las semillas para la siembra de estas, Así mismo, las semillas pequeñas como las de *Acacia melanoxylon* y *Alnus acuminata* se sembraron al voleo y la de *Erythrina edulis* directamente en la bolsa.

3.8 Riego

Se realiza de manera frecuente para que el sustrato permanezca húmedo, así se acelera la germinación de las semillas y permanecen hidratadas en este caso se utilizó un sistema de riego por aspersión, en etapa de germinación se regaban 3 veces al día ya que el sustrato era de arena, al inicio del trasplante 2 veces al día mañana y tarde, y después de los 15 días un riego en la mañana.

3.9 Trasplante de plántulas a bolsa

Las plántulas se pasaron de germinador a bolsa cuando éstas obtuvieron sus primeras hojas verdaderas, para la *Acacia melanoxylon* se trasplantaron cuando alcanzaron una altura de 3 a 4 cm y en el caso del *Alnus acuminata* de 2 a 2,5 cm de altura, el sustrato utilizado fue de tierra negra y cascarilla en una proporción de 4:1, además se adicionó 1 kilo de cal agrícola; cabe destacar, que la especie *Erythrina edulis* se sembró directamente en bolsa y que el sustrato utilizado fue de tierra de la zona y cascarilla con la misma proporción de las otras pero sin cal.

Para esta etapa las plántulas se mantuvieron bajo plástico por un periodo de tiempo de 15 días y una frecuencia de riego de tres minutos cada cuatro horas al día para evitar estrés hídrico.

3.10 Caracterización y descripción de las condiciones edafológicas de la finca

Para este proceso se tuvo en cuenta el análisis de suelo químico realizado por una entidad especializada en este procedimiento, características físicas y otras determinadas en trabajo de campo.

3.10.1 Características y propiedades químicas del suelo

Se determinó a partir de un análisis químico de suelos realizado por el laboratorio de suelos de CORPOICA con sede en Mosquera Cundinamarca, (ver Tabla 3) para ello se recolectó submuestras en seis puntos diferentes dentro del predio en estudio a una profundidad de 60 cm, se utilizó como herramienta un barreno. Posteriormente, se homogenizaron todas para obtener un kilo de muestra, donde se empaco en una bolsa entregada por esta entidad para luego rotularla debidamente.

Tabla 3.

Métodos utilizados en el análisis químico de suelo. CORPOICA

Determinación analítica	Unidad	Método
pH (1:2,5)	Unidades pH	VC-R-004 Versión 03
Conductividad eléctrica	dS/m	NTC5596:2008
Materia Orgánica (MO)	g/100g	Walkey & Black
Fósforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	VC-R-007 Versión 2
Azufre (s) Disponible	mg/kg	Formato monobásico de calcio
Capacidad-Interc CatiónicoEfect(CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo
Boro (B) Disponible	mg/kg	Formato monobásico de calcio
Acidez (Al + H)	cmol(+)/kg	KCL
Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCL
Calcio (Ca) Disponible	cmol(+)/kg	ID-R-072 Versión 5
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	ID-R-072 Versión 5
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	ID-R-072 Versión 5
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	ID-R-072 Versión 5
Hierro (Fe) olsen disponible	mg/kg	NTC 5526:2007
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007

Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007

3.10.3 Características físicas del suelo

En este proceso se hizo un estudio interno del suelo del predio, para ello se realizaron dos calicatas a razón de la pendiente del terreno, la primera tuvo una medida de 90 x 90 cm y profundidad de 90 cm, mientras la segunda fue de 90 x 90 cm y profundidad de 1 m, de allí se tomaron algunos datos como:

3.10.3.1 Perfiles del suelo. Para ello se realizaron dos calicatas que exteriorizaron las capas del suelo de la finca, estas se ubicaron según la pendiente que tenía el terreno, la primera situada en las coordenadas 6°43'30,49'' N y 72°49'10,516'' W y la segunda a 6°43'28,607'' N y 72°49'6,805'' W se observaron y midieron las distintas capas que poseía, este proceso se realizó teniendo en cuenta la metodología Soil Survey Division Staff (SSDS,1993) donde define siete horizontes maestros simbolizados con letras mayúsculas: O, A, E, B, C, R y recientemente adicionaron W para definir capas de agua presente en algún horizonte, así mismo también describen unas características subordinadas que acompañan a los horizontes o capas maestros y los detallan por subíndices literales minúsculos (Jaramillo, 2002)

3.10.3.2 Textura. Para la realización de esta medida se utilizó el método por tacto, un reconocimiento de textura en campo que es fácil aplicarlo y requiere de unos procesos que toman menos tiempo que los determinados en laboratorio pero que igualmente tiene una valencia para la clasificación de esta propiedad, Jaramillo, (2002) describe en la Tabla 4 algunos aspectos importante para realizar la prueba de textura en campo.

Tabla 4*Características para clasificar textura del suelo al tacto.*

Textura	Tacto	Cinta	Bolas	Adhesividad
A	Áspero	No	No	No
AF	Áspero	Muy mala	Mala	Muy poca
FA	Áspero	Mala	Mala	Poca
F	Muy suave	Mala	Resistente	Poca
FL	Suave	Rizada	Buena	Media
L	Harinoso	Rizada	Regular	Poca
FArA	Poco áspero	Regular	Buena	Alta
FAr	Suave	Regular	Buena	Alta
FArL	Suave	Rizada	Buena	Alta
ArA	Poco áspero	Buena	Buena	Alta
ArL	Suave	Buena	Buena	Alta
Ar	Jabonoso	Buena	Firme	Muy alta

Nota: Algunas características de las clases texturales del suelo al tacto. Adaptado de Jaramillo,(2002). Introducción a la ciencia del suelo.

3.10.3.3 Estructura del suelo. Para hallar la estructura del suelo se hizo por medio de la observación y se realizó medidas con el pie de rey, en esta etapa se tuvo en cuenta el tipo de estructura para cada horizonte de las dos calicatas. La estructura se halló de acuerdo a la FAO (2009), quien la clasifica según al grado, tamaño y tipo de agregados.

Al tomar la clasificación según el grado, se especifican como suelos desagregados (suelos sin estructura) y suelos agregados (suelos con estructura).

También se encuentra otra clasificación según el tamaño de agregados para esta, se hace la respectiva explicación en la Tabla 5.

Tabla 5

Clasificación de la estructura del suelo por tamaño de agregados.

Clasificación	Granular/laminar (mm)	Prismática/columnar/ forma de cuña (mm)	Blocosa/terrones/desmenuz ables /grumos (mm)
Muy fino/delgado	<1	<10	<5
Fino/delgado	1-2	10-20	5-10
Medio	2-5	20-50	10-20
Grueso/espeso	5-10	50-100	20-50
Muy grueso/espeso	>10	100-500	>50
Extremadament e grueso	-	>500	-

Nota: clasificación Adaptada por FAO, (2009), Guía para la descripción de suelos. Recuperado de <http://www.fao.org/publications/card/en/c/0f070cdd-1b6d-53fa-add1-5c972fb299d2/>

Así mismo, mencionan una clasificación para el tipo de agregados, donde se establece siete clases, en la Tabla 6 se visualiza la descripción de cada uno de ellos.

Tabla 6

Clasificación de estructura del suelo por tipo de agregados.

Tipo	Descripción
Blocosa (bloques)	Casi equidimensionales, con superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de caras de los agregados vecinos.
Granular	Esferoide o poliedros, que tienen superficies curvilíneas o irregulares que no son moldes de las caras de los agregados vecinos.
Laminar	Planos con dimensiones verticales limitadas; generalmente orientados sobre un plano horizontal y usualmente sobrepuestos.

Tipo	Descripción
Prismática	Las dimensiones están limitadas en el plano horizontal y extendido a lo largo del plano horizontal extendió a lo largo del plano vertical; las caras verticales están bien definidas, tienen superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de las caras de los agregados circundantes.
Estructura rocosa	Incluye la estratificación fina en sedimentos no consolidados y pseudomorfos de minerales intemperizados, reteniendo sus posiciones relativas cada una y los minerales no intemperizados en saprolita de rocas consolidadas.
Forma de cuña	Lentes unidos, elípticos que terminan en ángulos afilados, confinados por caras de fricción, no limitado a materiales vértigos.
Migajas, conglomerados y terrones	Creado principalmente por alteración artificial; por ejemplo: la labranza.

Nota: clasificación Adaptada por FAO, (2009), Guía para la descripción de suelos. Recuperado de <http://www.fao.org/publications/card/en/c/0f070cdd-1b6d-53fa-add1-5c972fb299d2/>

Por otro lado, considerando la resistencia de los agregados a la destrucción también se convierte en un factor determinante al momento de clasificarlos, la Tabla 7 muestra las características de los agregados según su resistencia.

Tabla 7

Clasificación de estructura del suelo por la resistencia de agregados.

Clasificación	Descripción
Débil	Los agregados son apenas observables en el sitio y sólo hay un arreglo débil de las superficies naturales. Cuando está poco disturbado, el material de suelo se rompe en una mezcla de agregados completos, muchos agregados rotos, y muchos materiales sin caras agregadas. La cara superficial de los agregados difiere de alguna manera del interior de los agregados.

Clasificación	Descripción
Moderado	Los agregados son observables en sitio y hay un arreglo distinto de las superficies naturales. Cuando está disturbado, el material del suelo se rompe en una mezcla de muchos agregados completos, algunos agregados rotos y poco material sin caras agregadas. La cara superficial de los agregados muestra generalmente diferencias distintas con los interiores de los agregados.
Fuerte	Los agregados son claramente observables en sitio y hay un arreglo prominente de las superficies naturales de debilidad. Cuando está disturbado, el material del suelo se separa principalmente en agregados completos. La superficie de los agregados difiere generalmente de manera marcada de los interiores de los agregados.

Nota: clasificación Adaptada por FAO, (2009), Guía para la descripción de suelos. Recuperado de <http://www.fao.org/publications/card/en/c/0f070cdd-1b6d-53fa-add1-5c972fb299d2/>

3.10.3.4 Infiltración del suelo. Para ello se hicieron dos hoyos cada uno de estos cerca de las calicatas estudiadas, el primer hoyo tuvo una dimensión de 40 cm de profundidad y 20 cm de diámetro, mientras el segundo se realizó con 37 cm de profundidad y 30 cm de diámetro, se hizo el llenado de agua correspondiente y se tomó datos cada 5 minutos por un tiempo total de 3 horas 40 minutos. Posteriormente, se determinó la gráfica de descenso del nivel de agua y velocidad de infiltración con el método de Porchet, el cual toma en consideración el flujo de agua que infiltra por las paredes del hoyo y por el fondo de este (Montecinos et al, 2008). La ecuación utilizada es

$$K_{fs} = \frac{r}{2 * (t_2 - t_1)} * Ln \left(\frac{2 * h_1 + r}{2 * h_2 + r} \right)$$

Donde r es el radio del pozo y h_1 y h_2 son las alturas de agua en el pozo en el instante t_1 y t_2 .

3.11 Diseño del sistema silvopastoril

En esta etapa se definió el tipo de sistema que se estableció, se precisó el ordenamiento espacial de las especies forestales, y densidades a manejar, para ello se tomó en cuenta la cantidad de material disponible, los requerimientos de la finca, los costos de implementación, y disponibilidad de la finca.

3.12 Fertilización y enmiendas aplicadas

Al conocer las características propias del suelo en donde se estableció el sistema, se tiene el conocimiento de sus componentes y deficiencias, a partir de este se hace un plan de fertilización para la plantación, además se emplea como enmienda cal agrícola y cal dolomita; se tiene en cuenta la cantidad, frecuencia, orden y modo de aplicación para su mayor eficiencia.

3.13 Medición de variables morfológicas

3.13.1 Diámetro a la altura del cuello (Dac)

Esta variable se tomó a 1 cm de altura y se utilizó un pie de rey universal para su lectura.

3.13.2 Altura total (Ht)

La medición para la altura se hizo desde donde inicia el tallo principal hasta el ápice y se utilizó una cinta métrica metálica.

3.13.3 Área de la copa Para esta variable se hicieron dos mediciones de la copa, en dirección norte- sur y oriente accidente e igualmente se utilizó la cinta métrica metálica.

3.13.4 Índice de biomasa

En el cálculo del índice de biomasa se utilizaron dos variables de las medidas en campo como fue el Dac y la Ht, con esto se realizó la siguiente formula:

$$\text{Índice de biomasa} = \text{Dac}^2 * \text{Ht}$$

Dónde: Dac= Diámetro a la altura del cuello

Ht= Altura total.

3.14 Análisis estadístico

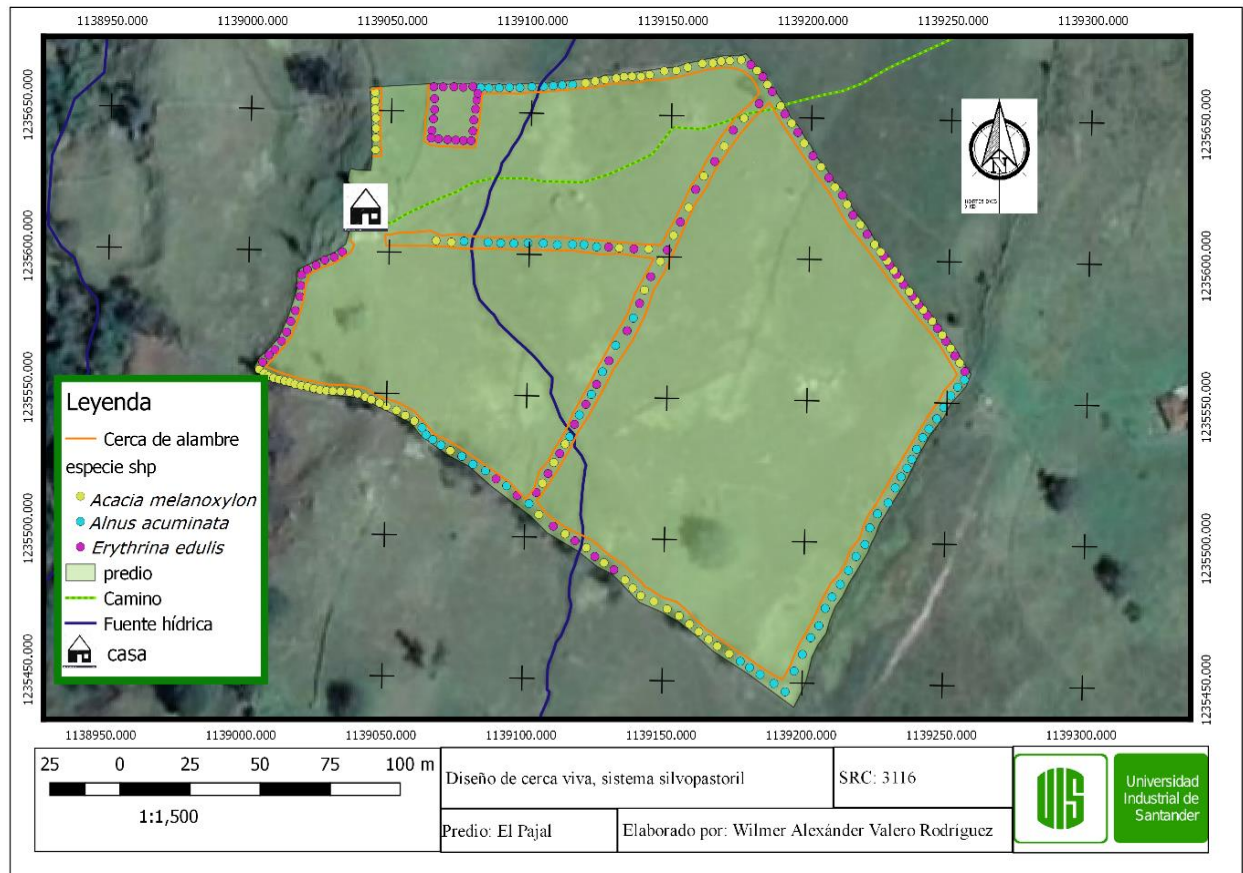
Dentro del análisis estadístico que se realizó a las variables en medición para evaluar el desarrollo y crecimiento de cada especie, y así mismo tener en conocimiento la adaptación de estas en la zona de desarrollo del sistema silvopastoril se efectuó un relacionamiento de dichas variables sometiéndolas a un análisis de varianza (ANOVA) las cuales determinan diferencias significativas con ($P < 0,05$) y posteriormente al saber si existía diferencias se empleó la prueba Tukey para la identificación de estas mismas quien hace un cálculo de intervalos de confianza para las diferencias entre las medias (Hervé & Lynne, 2010). La elaboración de este

procedimiento se ejecutó con el software libre R-Project e igualmente se emplea Excel para adecuación de otras graficas estadísticas.

4 Resultados

4.1 Diseño del sistema silvopastoril

El diseño del sistema fue un modelo de cerca viva. En la cual, se plantaron tres especies arbóreas *Acacia melanoxylon*, *Alnus acuminata* y *Erythrina edulis* distribuidas en 1090 m lineales aproximadamente, con un espaciamiento de 2,50 m de planta a planta, en la ubicación de estas se tuvo en cuenta las condiciones del suelo más favorables, específicamente la cantidad de humedad o encharcamiento que se tenía en el sitio. En la Figura9 se ilustra el diseño utilizado para el sistema y su respectiva distribución espacial de cada especie dentro del predio.

Figura9*Diseño del sistema silvopastoril.*

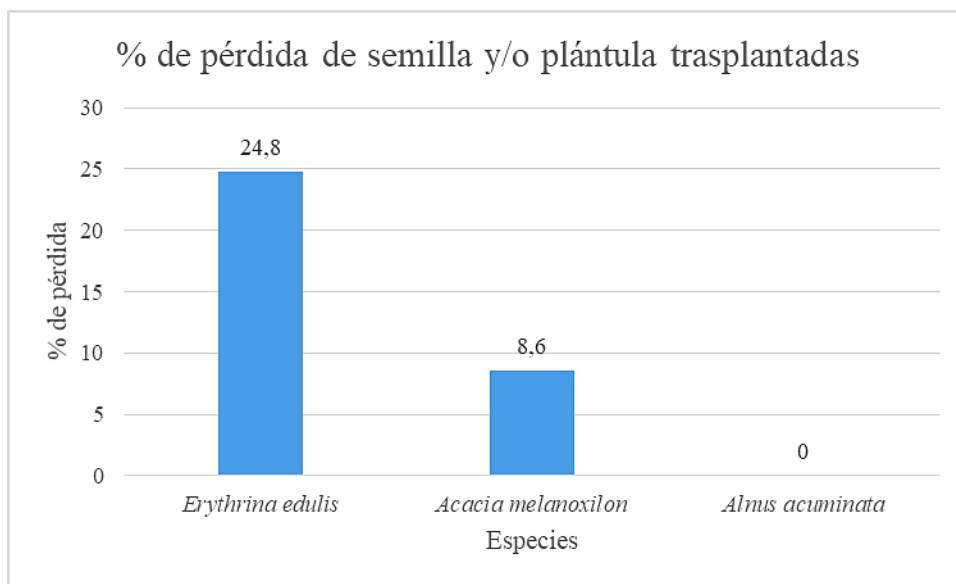
4.2 Plántulas en fase de vivero

Para esta fase se sacó el porcentaje de mortalidad de cada especie producida en vivero, como se muestra en la Figura10, la especie con mayor mortalidad fue *Erythrina edulis* con un 24,8% de plántulas, seguida de la *Acacia melanoxylon* con un 8,6% y finalmente la que prosperó en vivero con una mortalidad del 0% fue la especie *Alnus acuminata*. Las posibles causas del más bajo desarrollo de la especie en vivero podrían obedecerse a que el límite de desarrollo de la especie *Erythrina edulis* en literatura se encuentra hasta los 2400 m s. n. m. y el lugar está por

encima de los 2640 m s. n. m., lo que podría ser una disminución de la temperatura significativa para la especie, además, el sustrato empleado en el llenado de la bolsa para esta, se recogió de la zona en donde las altos niveles de acidez y bajos nutrientes originan toxicidad y mal desarrollo radicular, así mismo síntomas foliares relacionados a nutrientes.

Figura10

Porcentaje de mortalidad de semilla y/o plántulas trasplantadas.

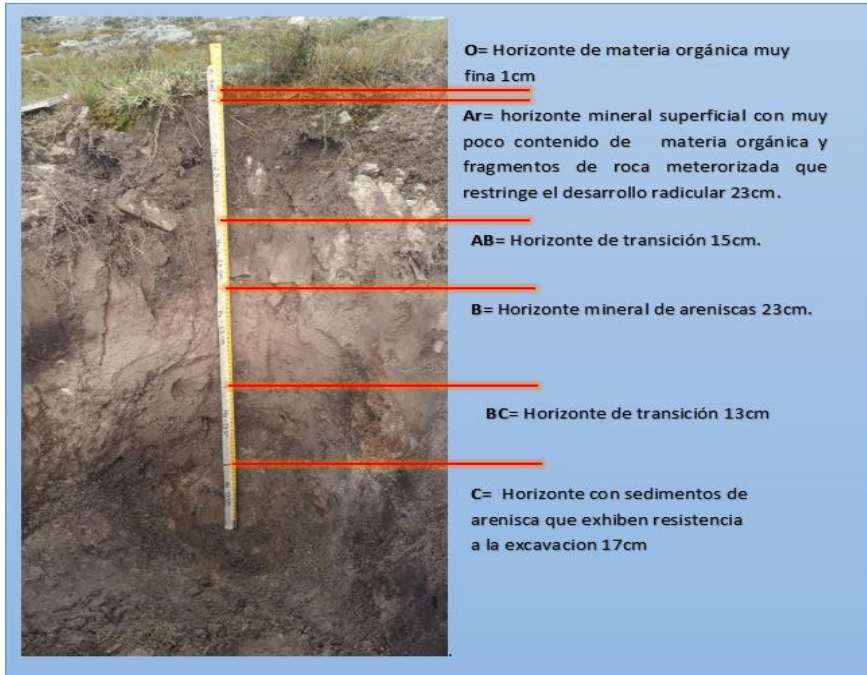


4.3 Perfil del suelo

Las capas maestros que se observaron fueron O, A, B, y C (ver Figura11), suelos desarrollados en areniscas propios de rocas sedimentarias, en tanto a la capa de materia orgánica se encuentra muy fina, esto por falta de componentes que suministre desechos al suelo, además se presenta un horizonte A con una ausencia notable de esta y restricción de raíces por fragmentos de roca.

Figura 11

Observación de los horizontes a). Calicata 1 b). Calicata 2.



a



b

La pendiente registrada en cada una de las calitas fue del 25% para la primera y 10% para la segunda (ver Figura12). La pendiente de las calicatas se halló con la relación de altura y base, medida en el sitio.

Figura12

Estimación de la pendiente en el terreno.



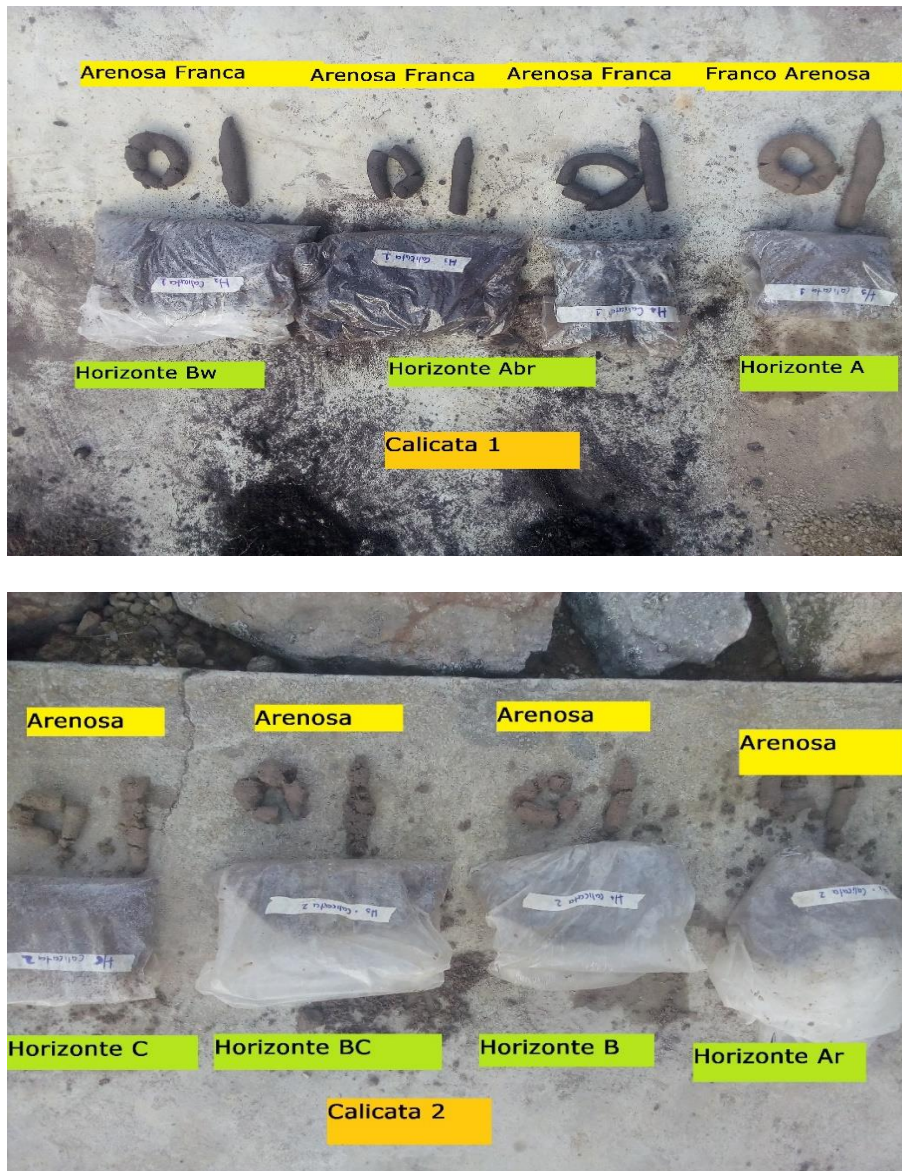
4.3.1 Textura

El resultado de este procedimiento demostró que en general el suelo tiene alto contenido de arena, en la calicata uno predomina la textura Arenosa Franca y en el último horizonte baja un poco la cantidad de arena, donde se encuentra una textura Franca Arenosa, mientras, en la

calicata dos su textura es completamente arenosa. En la Figura13 se ilustra el resultado del análisis

Figura13

Clasificación de textura al tacto calicata uno y calicata dos.



4.3.2 Estructura del suelo

Se consideró la estructura de cada uno de los horizontes presentes en el área de estudio, predominando la estructura de bloques en la calicata uno, con una consistencia de débil a moderado (ver Tabla 8).

Tabla 8.

Clasificación de la estructura calicata 1

Horizonte	Grado de estructura	Tipo de agregado	Tamaño de agregados (mm)	Consistencia de los agregados
A	Agregado	Bloques	8-10 FI	Débil
Abr	Agregado	Bloques	8-13 FI	Moderado
Bw	Agregado	Granular	3-5 ME	Fuerte

Nota: FI: Fino/delgado. ME: Medio.

En la segunda calicata el suelo según la clasificación de la FAO, (2009) carece de estructuras siendo clasificado como suelo desagregado (ver Tabla 9) su textura de arena la hace débil en la unión de partículas.

Tabla 9.

Clasificación de la estructura calicata 2

Horizonte	Grado de estructura	Tipo de agregado	Tamaño de agregados (mm)	Consistencia de los agregados
Ar	Desagregado	-	-	-
B	Desagregado	-	-	-

Horizonte	Grado de estructura	Tipo de agregado	Tamaño de agregados (mm)	Consistencia de los agregados
Bc	Desagregado	-	-	-
C	Desagregado	-	-	-

Nota: Horizontes que por su alta textura arenosa carecen de estructura y contienen granos simples.

Figura14

a) Estructura calicata 1. b) Estructura calicata 2. c) Medida de agregados.



a)



b)



c)

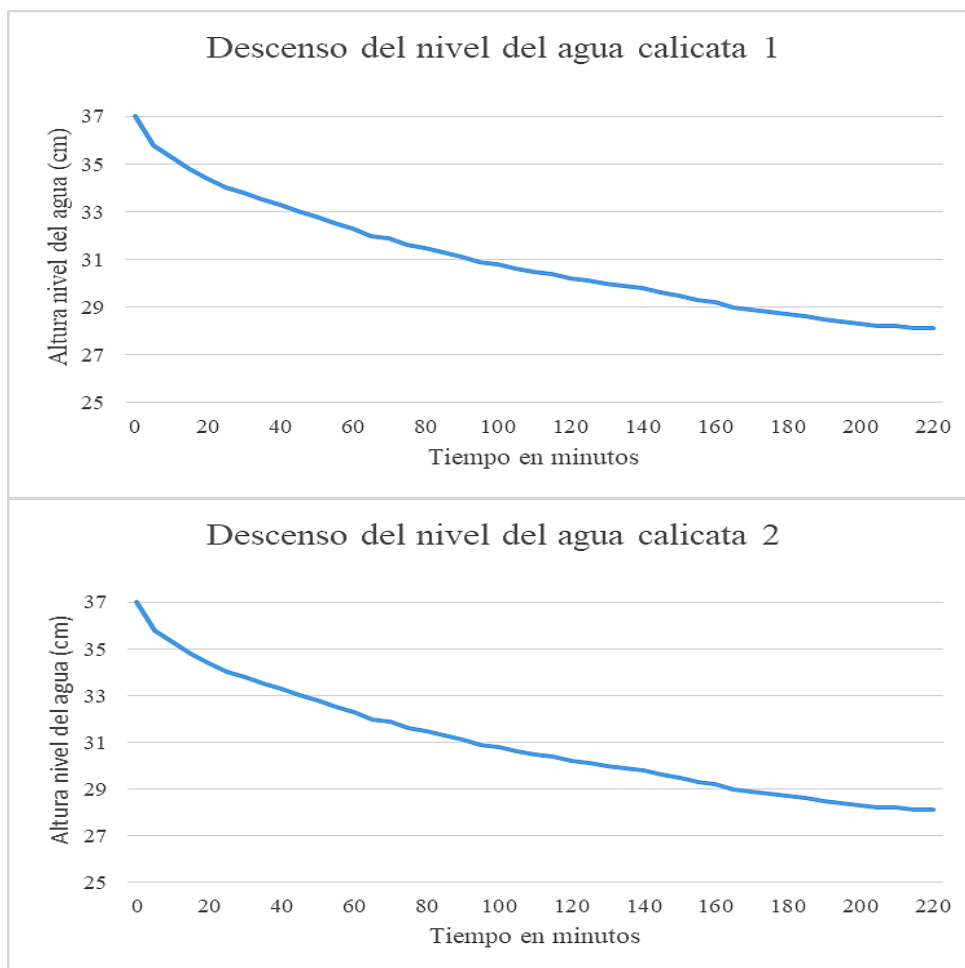
4.3.3 Prueba de infiltración

La Figura15 muestra el descenso del agua en cada una de las calicatas y se puede observar que en general el descenso de esta es muy lenta, por ende, la velocidad de infiltración muy baja demuestra problemas de propiedades y condiciones del suelo.

Cabe destacar que solo se realizó un llenado del hoyo y fue hecha a inicios de lluvias donde el suelo aun no presentaba saturación de agua, lo que demuestra mayores problemas de infiltración.

Figura15

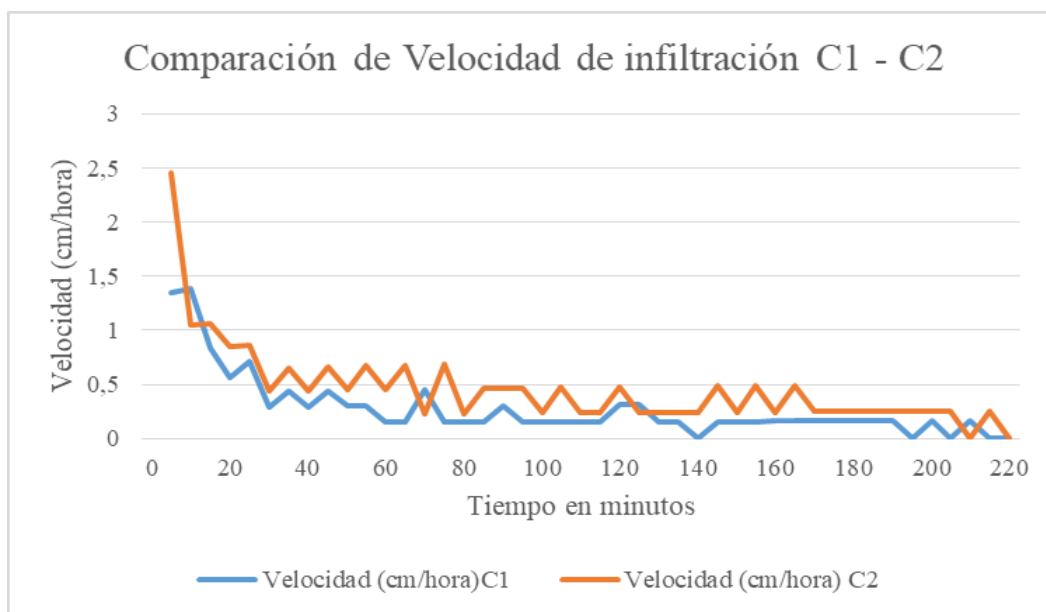
Gráficas de descenso del nivel del agua calicata 1 y calicata 2.



Al comparar las velocidades de infiltración de las dos calicatas el resultado se describe en la Figura16, en términos generales la dos calicatas tienen una velocidad similar, sin embargo, la calicata uno demuestra tener una velocidad en los primeros 10 minutos considerable, pero que desciende rápidamente respecto a la otra, entre el minuto 140 y 205 se observan velocidades constantes entre las dos calicatas.

Figura16

Gráfica de comparación de velocidad de infiltración de calicata1 y calicata2.



En tanto a los promedios de velocidad se describen en la Tabla 10.

Tabla 10.

Promedio de velocidad de infiltración de cada una de las calicatas.

Calicata	Promedio de velocidad de infiltración (cm/hora)
1	0,27431

Calicata	Promedio de velocidad de infiltración (cm/hora)
2	0,45642

Figura17

Prueba de infiltración en campo. a) Llenado de agua en el hoyo 1. b) Llenado de agua hoyo 2.

**a)****b)**

4.4 Análisis químico del suelo

Al considerar el análisis de los componentes químicos que realizó CORPOICA, demuestra la limitante que posee el suelo, en la Tabla 11 se presenta los resultados obtenidos en el análisis químico con su respectiva descripción. Las cuales los nutrientes indispensables en el desarrollo de la planta y que se encuentran en bajas proporciones, además de suelo ácido que reduce la disponibilidad de elementos a la planta.

Tabla 11.

Resultado del análisis de suelo.

Determinación analítica	Valor	Interpretación
pH (1:2,5)	4,63 U pH	Fuerte a extremadamente ácido
Conductividad eléctrica	0,13 dS/m	No salino
Materia Orgánica (MO)	3,67 g/100g	Bajo
Fósforo (P) Disponible (Bray II)	11,62 mg/kg	Bajo
Azufre (s) Disponible	3,59 mg/kg	Bajo
Capacidad Intercambio Catiónico Efectivo (CICE)	3,39 cmol(+)/kg	Baja
Boro (B) Disponible	0,03 mg/kg	Bajo
Acidez (Al + H)	2,51 cmol(+)/kg	No indica
Aluminio (Al) Intercambiable	2,02 cmol(+)/kg	Con restricción
Calcio (Ca) Disponible	<0,59 cmol(+)/kg	Bajo
Magnesio (Mg) Disponible	<0,20 cmol(+)/kg	Bajo
Potasio (K) Disponible	0,10 cmol(+)/kg	Bajo
Sodio (Na) Disponible	<0,14 cmol(+)/kg	Normal
Hierro (Fe) olsen disponible	117,85 mg/kg	Alto
Cobre (Cu) olsen Disponible	<1,00 mg/kg	Bajo

Manganeso (Mn) Olsen Disponible	1,68 mg/kg	Bajo
Zinc (Zn) Olsen Disponible	<1,00 mg/kg	Bajo

4.4.1 Análisis de pH

El pH arroja un valor de 4,63 dentro de la escala de unidad de potencial de iones Hidrógeno, esto indica que el suelo presenta altos niveles de acidez, ya que en un estudio hecho por (Pérez López, 2013) afirma que el pH óptimo para el desarrollo de cultivos es del rango de 5,5 a 6,5. Lo que indica que presenta de 8,7 a 18 veces menos H⁺ activos que un suelo con pH idóneo para un buen crecimiento de las plantas. Aunque las especies seleccionadas para el diseño resisten suelos ácidos su desarrollo es muy limitado y requieren de correctivos, la especie más susceptible a la alta acidez es la *Erythrina edulis* la cual no tolera suelos extremadamente ácidos inferiores a 4,5 (Acero y Barrera, 1996).

4.4.2 Análisis de conductividad eléctrica (CE)

El análisis realizado arrojó una conductividad eléctrica de 0,13 dS/m (decisiemens por metro) lo que refiere a que el suelo no es salino (ver Tabla 12), esto demuestra que no presenta una reducción del potencial osmótico de la solución del suelo, en estos suelos no salinos predominan los aniones normalmente nitratos y bicarbonatos (Lazara et al., 2008).

Tabla 12*Clasificación de conductividad eléctrica del suelo.*

Concentración de CE	Clasificación	Efecto
<1	Suelos libres de sales	No existe restricción para ningún cultivo
1-2	Suelos muy bajos de sales	Algunos cultivos muy sensibles pueden ver restringidos sus rendimientos
2-4	Suelos moderadamente salinos	Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en su rendimiento
4-8	Suelos salinos	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad
8-16	Suelos altamente salinos	Solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos
>16	Suelos extremadamente salinos	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos

Nota: Clasificación de conductividad eléctrica. Adaptado de Castellanos,(2000). Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua.

4.4.3 Análisis Materia Orgánica (MO)

Dentro del resultado de materia orgánica el análisis determinó que estaba en 3,67 g/100g, lo que indica que posee un 3,67% de esta, aunque posee un valor bajo, esta se encuentra dentro del rango moderado (ver

Tabla 13) según la clasificación de la materia orgánica.

Tabla 13.*Clasificación de % de materia orgánica.*

Clasificación	Contenido de M.O en %
Muy bajos	0,0 – 1,0
Bajos	1,1 – 2,0
Moderados	2,1 – 4,0
Altos	4,1 – 8,0
Muy altos	>8,0

Nota: Interpretación de contenido de materia orgánica por el método de Walkey & Black. Adaptado de Villarroel, (1988). Manual Práctico Para La Interpretación de Análisis de Suelos En Laboratorio.

4.4.4 Análisis de Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo

El resultado de este análisis efectuó un resultado de 3,39 cmol(+)/kg, lo que refiere a un valor bajo, ya que González Gordon et al (2018) asegura que un valor de 20 cmol(+)/kg se encuentra entre un nivel medio de CICE en estudios hechos en la subregión de Urabá la cual también es realizada en suelos ácidos.

4.4.5 Análisis de Fosforo disponible

Para este análisis se realizó el método de Bray II, donde preparan una solución de (HCl 0.1 M y NH₄ F 0.03 M), esto con el fin extraer el fósforo que es asimilable por la planta, puesto que en el suelo es muy difícil que las plantas adquieran este elemento. Para el caso del estudio realizado el resultado fue de 11,62 mg/kg, esto indica un nivel bajo de fósforo disponible, en la Tabla 14 se muestra la interpretación de los valores de P disponible.

Tabla 14.*Clasificación e interpretación de los análisis de fósforo.*

Clasificación	P disponible en mg/kg
Muy bajo	0-5
Bajo	6-15
Medio	16-25
Alto	26-45
Muy alto	>25

Nota: Clasificación e interpretación de P disponible, método Olsen. Adaptado de Villarroel, (1988). Manual Práctico para la Interpretación de Análisis de Suelos en Laboratorio.

4.5 Implementación del sistema silvopastoril

4.5.1 Trazado y Cercado

En esta actividad se consideró el sistema silvopastoril que se diseñó, para así hacer un cercado que protegiera las plantas principalmente del ganado, pues la finca se tenía como un solo corral donde los bovinos se mantenían permanente en toda el área, en este caso, el diseño realizado fue de cerca viva, por ello se construyó por todo el lindero de la finca, además se dividió en tres corrales.

4.5.2 Preparación del terreno

En cuanto a la preparación del terreno se realizó un plateo inicial de 70 cm de diámetro, se extrajo la cobertura vegetal para posteriormente hacer un picado del suelo y dejarlo airear unos días, este picado se hizo con el fin de soltar el suelo y remover las rocas puesto que este suelo presenta alta rocosidad y compactación.

4.5.3 Siembra de plántulas

Se realizó un ahoyado en el lugar donde se laboreó el terreno, posteriormente se procede a la fertilización, aplicación de enmienda y establecimiento de las plántulas; se apretó la tierra levemente para evitar espacios vacíos en la raíz y encharcamientos del hoyo. En la

Tabla 15 se menciona la cantidad de plántulas sembradas de cada especie.

Tabla 15.

Número de plántulas sembradas en la implementación del sistema.

Especie	Número de plántulas sembradas
<i>Acacia melanoxylon</i>	202
<i>Alnus acuminata</i>	112
<i>Erythrina edulis</i>	107

4.5.4 Aplicación de enmiendas y Fertilización de plántulas

La aplicación de enmienda de cal dolomita se realizó al tener en cuenta la baja presencia de magnesio en el suelo. Así mismo, la cal agrícola se agregó para la mejora significativa de calcio en este y su velocidad en reacción a comparación de la cal dolomita. En la Tabla 16 se describe la aplicación de las enmiendas.

Tabla 16.*Enmienda aplicada al terreno.*

Enmienda	Dosis gr/planta	Tiempo de aplicación	Modo de aplicación
Cal dolomita	150	Durante la siembra	Espolvoreado y mezclado con la tierra
Cal agrícola	150	Durante la siembra - 1 mes después de la siembra	Espolvoreado y mezclado con la tierra

La fertilización química se realizó a los 20 días de la siembra y de ser aplicada la enmienda, esto con el fin de hacer un mejor aprovechamiento de la fertilización al dejar reaccionar unos días las enmiendas aplicadas, particularmente la cal agrícola. En la Tabla 17 se visualiza la descripción de la fertilización realizada.

Cabe resaltar que a pesar de ser un suelo muy pobre en N se utilizó fertilizante químico 10-20-20, mayor cantidad de fosforo y potasio en relación con nitrógeno puesto que se maneja especies fijadoras de nitrógeno, además se aplicó compost rica en materia orgánica en la siembra.

Tabla 17.*Fertilizante aplicado al terreno.*

Fertilizante	Dosis gr/planta	Tiempo de aplicación	Modo de aplicación
10-20-20	60	20 días después de la siembra	Enterrado
Sulfato de Zinc	10	20 días después de la siembra	Enterrado
Sulfato de Magnesio	30	20 días después de la siembra	Enterrado
Compost	500	Durante la siembra	Enterrado

4.6 Plateo y poda:

Los primeros tres plateos se tuvo en cuenta que coincidiera con el tiempo de fertilización y de aplicación de enmienda para un mejor aprovechamiento y resultado de estas actividades como se ve en la Tabla 18, cabe mencionar que en la actividad de poda de formación se realizó únicamente en la especie de *Alnus acuminata* por presentar un número considerable de ramas bajas en el tallo.

Tabla 18.

Manejo silvicultural.

Actividad silvicultural	Cantidad	Tiempo
Plateo	4	siembra
		20 días después de la siembra
		1 mes después de la siembra
		5 meses después de la siembra
Poda de formación	1	7 meses después de la siembra

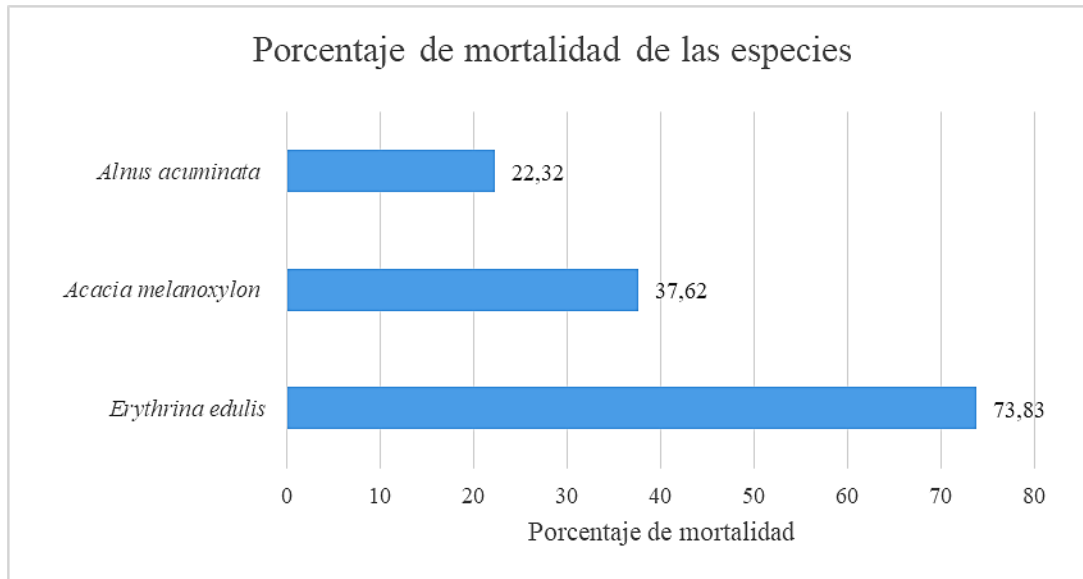
4.7 Mortalidad de las especies en el establecimiento del sistema

La mortalidad de plántulas en la implementación del sistema se presentó en las tres especies, sin embargo, la especie con mayor mortalidad fue la *Erythrina edulis* quien alcanzó un total de 73,83%, su adaptabilidad fue muy baja. Por otro lado la especie de *Alnus acuminata* obtuvo el porcentaje total más bajo de mortalidad al presentar un 22,32% de esta (ver

Figura18).

Figura18

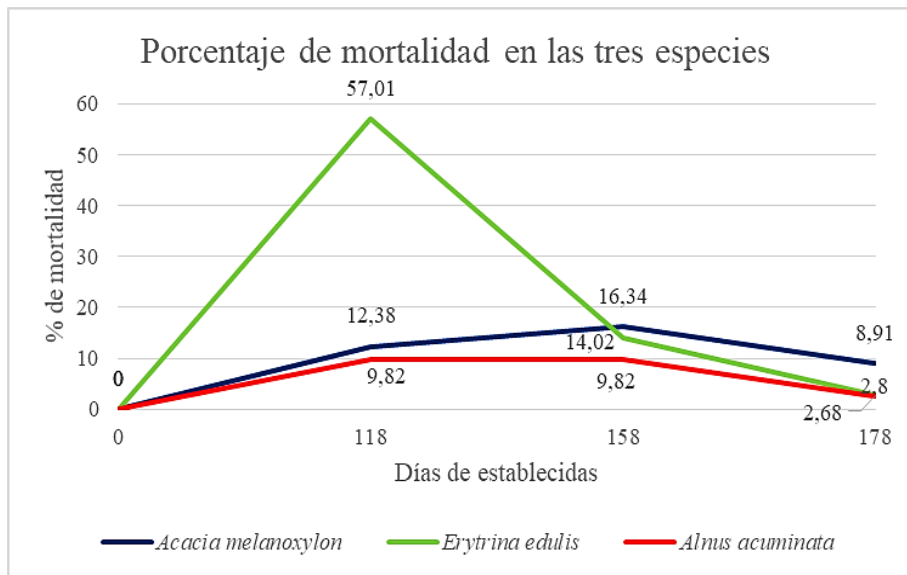
Gráfica de comparación de porcentaje total de mortalidad en las tres especies.



Cabe mencionar que durante los primeros días de siembra las especies se vieron afectadas por fuertes condiciones climáticas de granizo, por lo que la especie *Erythrina edulis* al establecerse a una altura considerable sobre el nivel del mar, pudo producir un pico alto de mortalidad que alcanzó el 57,01% (ver Figura19) en este tiempo.

Figura19

Grafica de comparación de porcentaje de mortalidad en las tres especies por tiempo.



4.8 Análisis de variables morfológicas

4.8.1 Diámetro a la altura del cuello (Dac)

Con respecto a la variable Dac se observa que en la Tabla 19 en el ANOVA se obtuvo un valor menor a ($P < 0,05$) lo que demuestra una diferencia significativa entre las especies evaluadas.

Tabla 19.

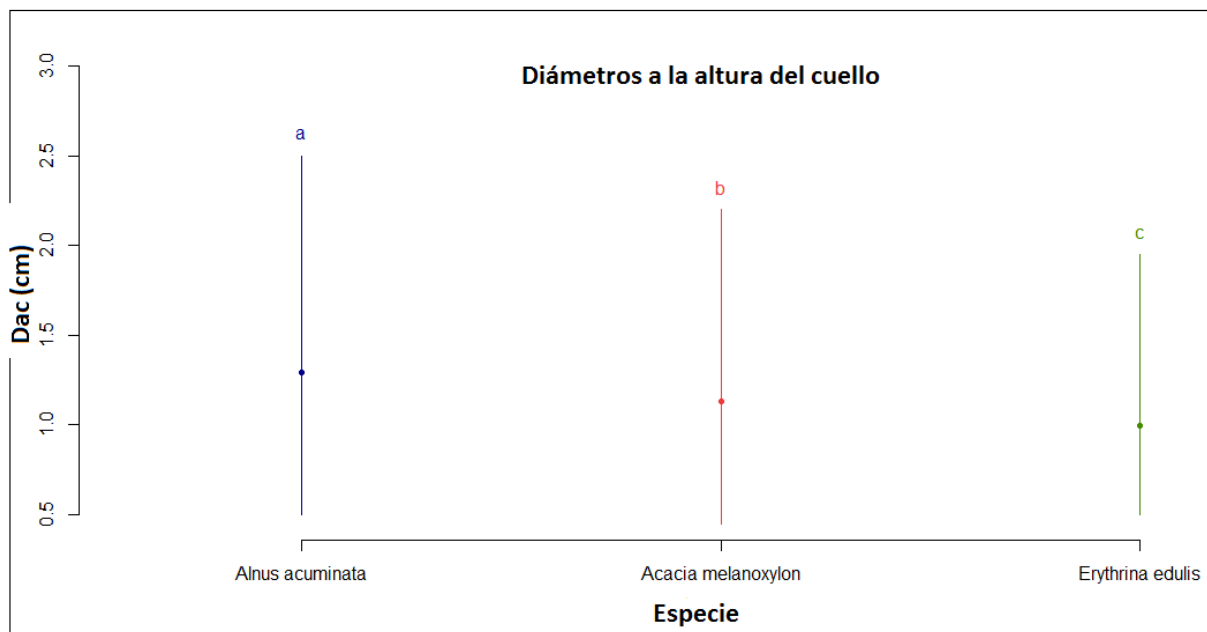
ANOVA. Diámetro a la altura del cuello.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	P (> F)
Especie	2	6,29	3,1453	24,5	5,67e-11 ***
Error	630	80,88	0,1284		
Total	632	87,17			

Mientras en la Figura20 del gráfico de Tukey indica que la diferencia se presenta en las tres especies al designar una palabra diferente a cada especie, estas palabras hacen referencia a las medias.

Figura20

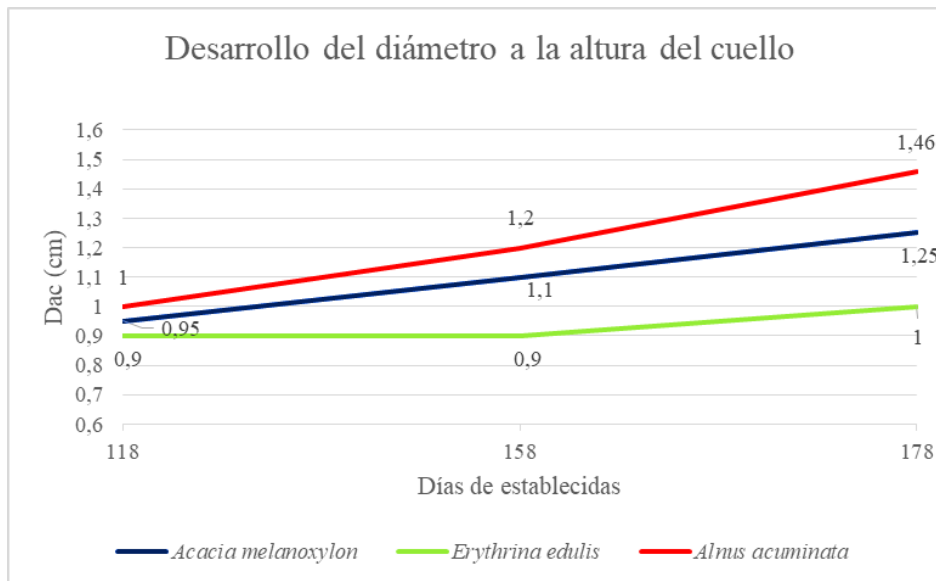
Gráfico prueba Tukey para la variable Dac



Por otro lado, en la representación del gráfico de la Figura21 se evidencia que en el momento de la siembra los Dac de las tres especies presentaban una medida similar y en el transcurso del tiempo el *Alnus acuminata* presenta el mayor aumento en el desarrollo de esta variable con un incremento de 0,46 cm con respecto al incremento de la *Acacia melanoxylon* de 0,3 cm y la *Erythrina edulis*, quien presentó el menor desarrollo del Dac con tan solo un incremento del 0,1 cm.

Figura21

Gráfico de desarrollo del Dac de las especies.



4.8.2 Altura total del tallo (Ht)

Se presenta diferencia significativa en las tres especies, ($P < 0,5$) (ver Tabla 20)

Tabla 20.

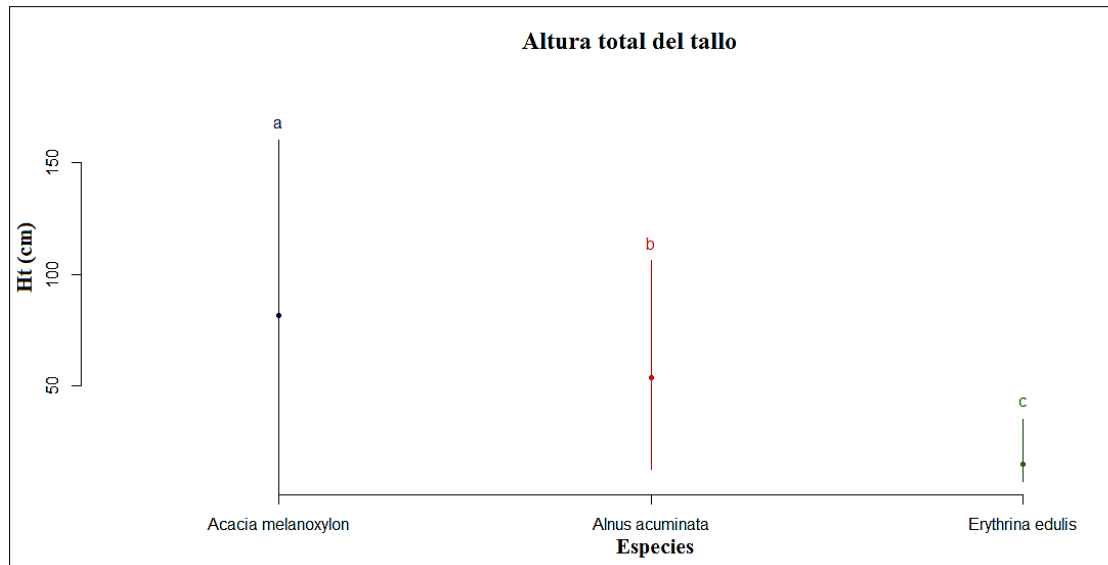
ANOVA. Altura total del tallo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	P (> F)
Especie	2	365703	182852	438,5	2e-16 ***
Error	630	262676	417		
Total	632	628379			

En la Figura22 se representa el gráfico de Tukey donde cada especie está representada con una letra, lo que constata la diferencia significativa en las tres especies.

Figura22

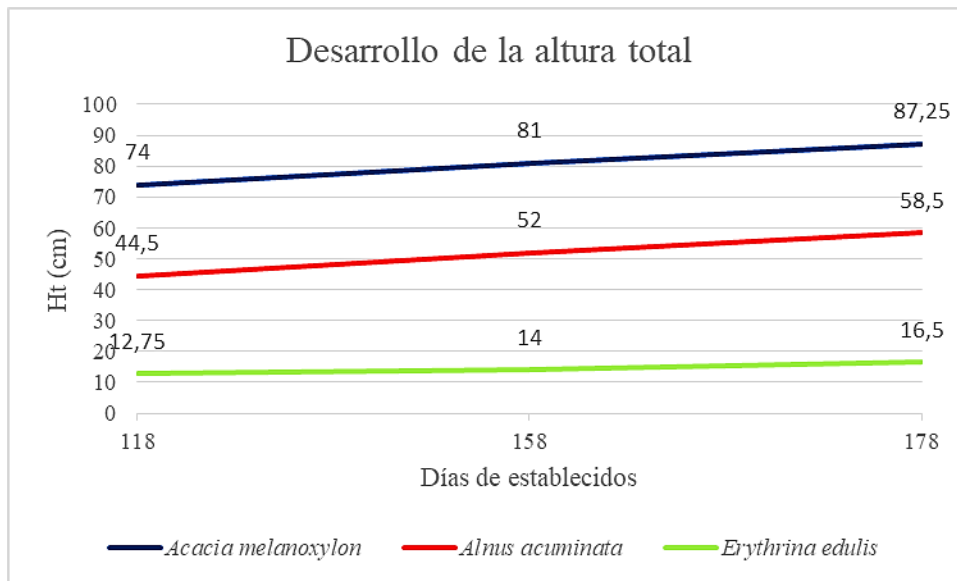
Gráfico prueba Tukey para la variable Ht.



El desarrollo de esta variable respecto al tiempo, la *Acacia melanoxylon* presenta una mayor Ht, sin embargo el mayor incremento durante la medición de la variable la presentó el *Alnus acuminata* con un incremento de 14 cm, mientras que la especie de mayor altura presento un incremento de 13,25 cm, por otro lado la *Erythrina edulis* mostró una altura baja e igualmente en el desarrollo de esta variable con un incremento de tan solo 3,75 cm.

Figura23

Gráfico de desarrollo de Ht de las especies.



4.8.3 Área de la copa

La variable área de copa también presenta diferencia significativa entre las especies ($P < 0,05$) (ver Tabla 21).

Tabla 21.

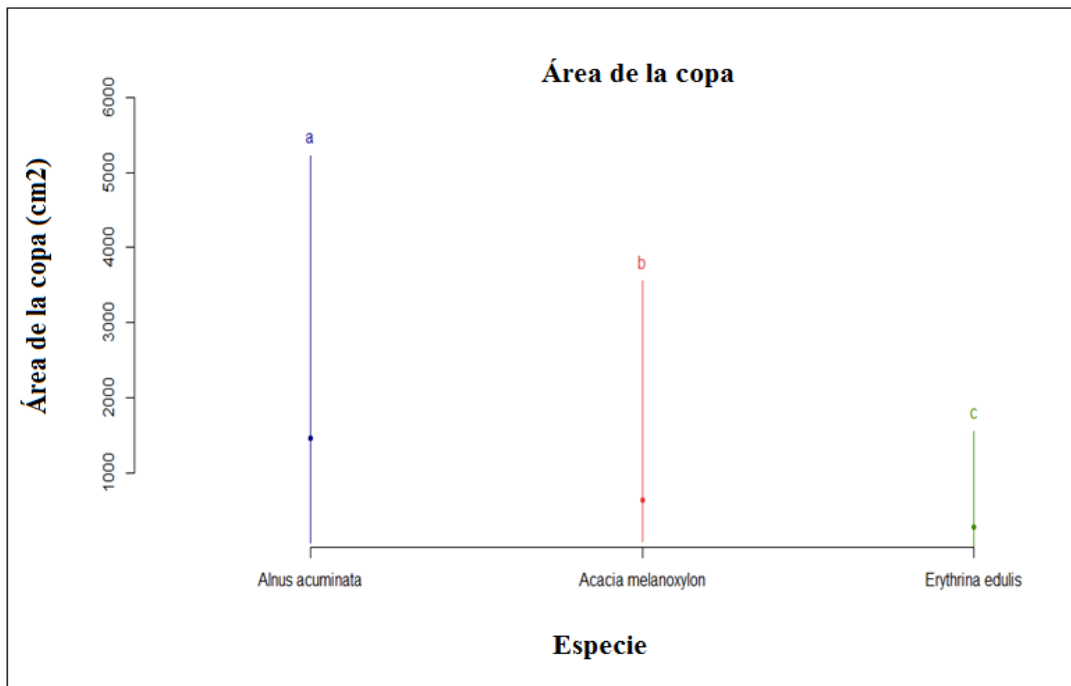
ANOVA. Área de la copa.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	P (> F)
Especie	2	116766939	58383470	119,3	2e-16 ***
Error	631	308763651	489324		
Total	633	425530590			

Mientras en el gráfico de la Figura 24 se aprecia que continúa la diferencia significativa asignando una letra diferente a cada especie.

Figura24

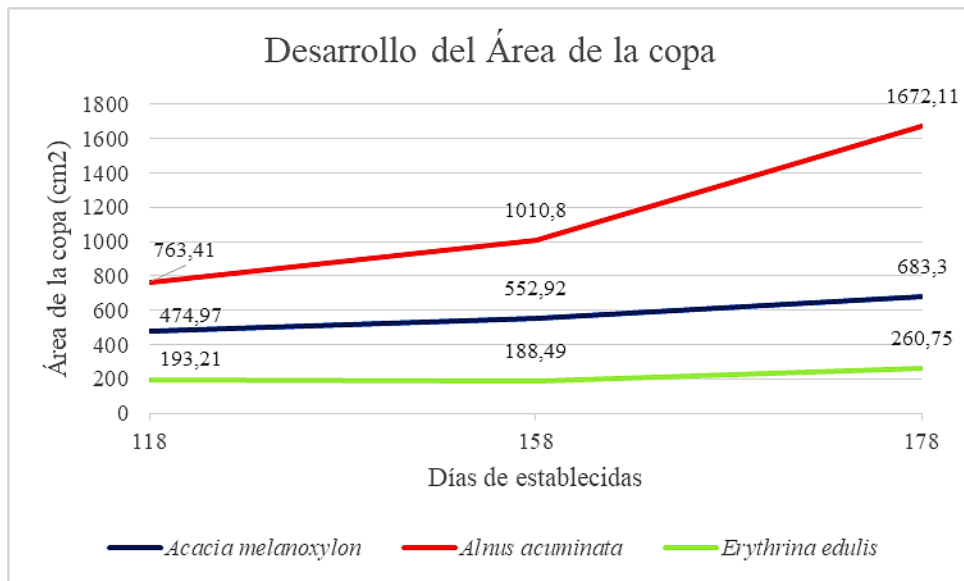
Gráfico prueba Tukey para la variable área de copa.



Dentro del gráfico de desarrollo del área de la copa (ver Figura25) se muestra un alto incremento de este en la especie de *Alnus acuminata* con un notable comportamiento de aumento en la última toma de datos, por otro lado en la especie *Erythrina edulis* se denota un comportamiento de decaencia en la segunda toma de datos y esto obedece a que esta especie presentó una desfoliación durante este tiempo.

Figura25

Desarrollo del área de copa de las especies.



4.8.4 Índice de biomasa En el índice de biomasa se denota una vez más alta diferencia significativa ($P < 0,05$) (ver Tabla 22).

Tabla 22.

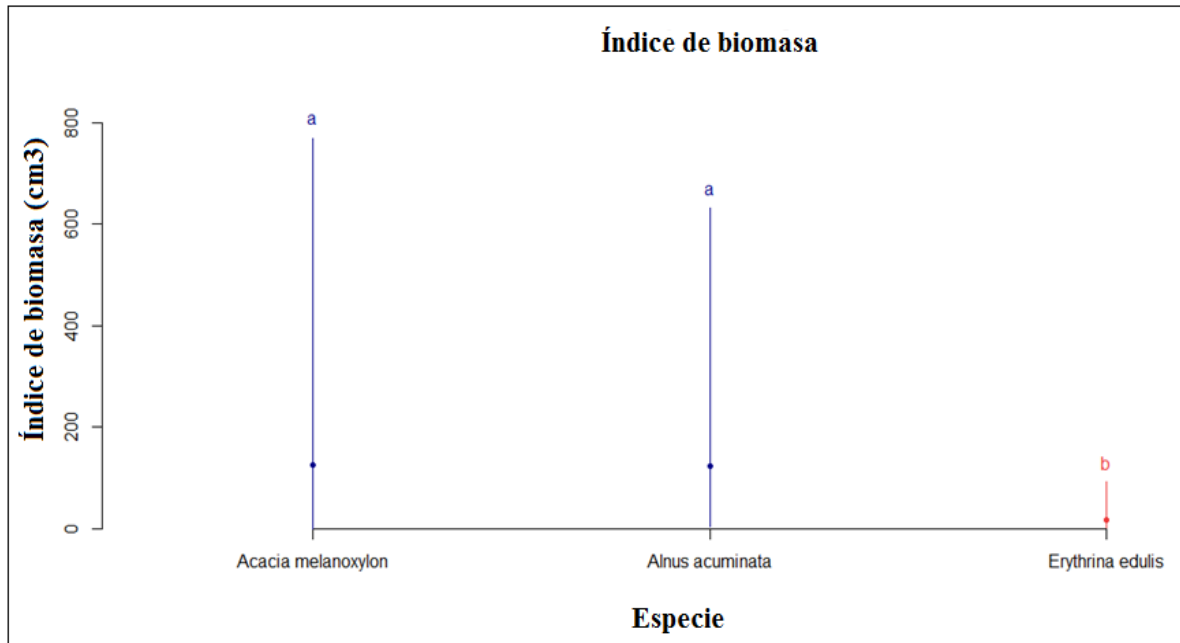
ANOVA. Índice de biomasa.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Valor	P (> F)
Especie	2	968011	484006	41,26	2e-16 ***
Error	631	7402764	11732		
Total	633	8370775			

Así mismo, el gráfico de Tukey (ver Figura 26) identifica que la diferencia ya no está presente entre las tres especies, ya que, asigna una misma letra para dos especies lo que indica que hay una baja diferencia entre la *Acacia melanoxylon* y *Alnus acuminata*, de esta manera la alta diferencia significativa la ubica en la especie *Erythrina edulis* con respecto a las otras.

Figura26

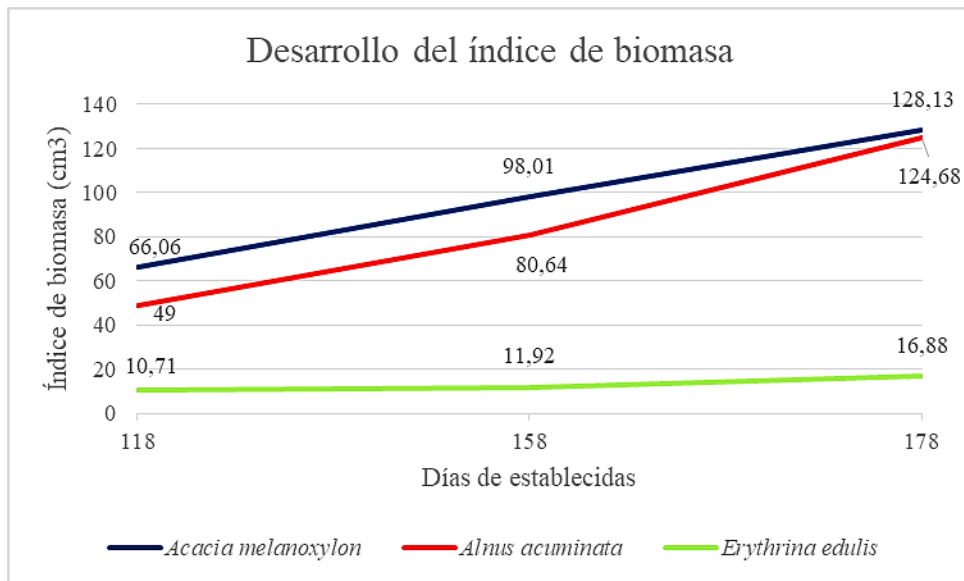
Gráfico prueba Tukey para la variable índice de biomasa.



Dentro del gráfico de desarrollo del índice de biomasa representa a la *Acacia melanoxylon* con los más altos valores a la par con el *Alnus acuminata*, pero se representa que después de la segunda toma de datos esta adquiere un considerable ascenso en sus valores (ver Figura27).

Figura27

Gráfico de desarrollo del índice de biomasa de las especies.



5 Discusión

Monroy (2016) establece un sistema silvopastoril con *Alnus acuminata* y *Sambucus peruviana*, diseñaron el sistema en modalidad de cerca viva haciendo una implementación lineal, sembrando así, dos plántulas de la especie *Sambucus peruviana* por una de *Alnus acuminata*, en total las plántulas implantadas en el diseño fueron de 396 y afirman tener un éxito de supervivencia del 98%, además, anuncian en tener beneficios ambientales, paisajísticos y económicos en determinado plazo de tiempo, lo que se pretende con el presente proyecto.

En el establecimiento de un sistema silvopastoril realizado por Rodríguez y Barrera (2007) a 2580 m s. n. m., precipitación de 500 a 1000 mm, ubicado dentro del bosque seco montano bajo con suelos de fertilidad moderada a alta, acidez de moderada a muy fuerte y buen drenaje, elaboraron un estudio con *Alnus acuminata*, *Acacia melanoxylon* y *Acacia decurrens* donde evaluaron el desarrollo de las especies y su efecto sobre el suelo utilizando un diseño de

bloques al azar, los resultados presentaron que la variable Ht no presenta diferencia significativa entre la *Acacia melanoxylon* y *Acacia decurrens*, pero sí de estas con respecto al *Alnus acuminata* el cual tuvo el más bajo desarrollo con un promedio de 1,22 m de altura a comparación con la *Acacia melanoxylon* y *Acacia decurrens* quienes tuvieron una altura de 1,58 y 1,72 m respectivamente, de igual manera la variable Dac el *Alnus acuminata* sigue presentando el menor desarrollo. Al contrario de los resultados que difirieron este proyecto, esto puede referir a que el *Alnus acuminata* es más resistente a suelos con poco drenaje y arenosos, por otro lado Escobar et al., (2019) en una evaluación de estratos arbóreos y arbustivos en un sistema silvopastoril manifiesta el buen desarrollo del *Alnus acuminata* en el estrato medio, plantados a orillas de una cuenca hídrica con disponibilidad de agua permanente, con los más altos valores de desarrollo en altura y difieren que a mayor altura y menor precipitación el crecimiento es menor, además hacen referencia al mejoramiento considerable del suelo al subir un pH de 5,6 a 6, así como la materia orgánica de 2,5 a 5,1 y el fosforo de 10 a 35 mg/kg. Según Dota y González (2019) afirman que en un ensayo realizado con cuatro especies entre ellas *Alnus acuminata* y *Erythrina edulis* difiere que el porcentaje de mortalidad del *Alnus acuminata* presentó un valor del 6,42% mientras el *Erythrina edulis* registró un valor del 74,28% a una altura de los 2600 a 3000 m s. n. m., por lo anterior se asimilan con los registros tomados en el presente proyecto, el cual designa un porcentaje de mortalidad al *Alnus acuminata* del 22,32% y al *Erythrina edulis* del 73,83%. Por otro lado, Bemhaja (2001) afirma que en suelos arenosos es difícil el ciclaje de nutrientes, así como la baja capacidad de intercambio catiónico, baja saturación de bases y bajo contenido de materia orgánica.

6 Conclusiones

Se demostró que para el diseño del sistema es importante tener en cuenta la ubicación espacial de las especies, seleccionar el tipo de diseño se requiere considerar aspectos importantes como el capital, disponibilidad de material, disponibilidad de terreno entre otros, así mismo, en la implementación se precisa de actividades que ayudan a un buen establecimiento y desarrollo del sistema, de donde exige un constante trabajo de este.

Se establece que el componente suelo presenta muchas limitantes en tanto propiedades físicas como en químicas, haciéndolo así un restrictivo importante a considerar en el momento de establecimiento de un cultivo, plantación o reforestación; para este caso en el establecimiento de un sistema silvopastoril lo que hace pertinente en todos los casos un manejo técnico y una inversión adicional para el mejoramiento de algunos de sus componentes.

Se observó que el suelo presenta una alta compactación ya que las pruebas de infiltración realizadas en campo muestran una baja velocidad de esta, a pesar de ser un suelo arenoso tiene inconvenientes de drenaje que se convierte en un problema significativo en el desarrollo de algunas especies.

Se determinó estadísticamente que las especies más aptas para esta zona con las condiciones de suelo y clima manifestadas en el proyecto son el *Alnus acuminta* y la *Acacia melanoxylon* quienes mostraron los mejores desarrollos en las distintas variables evaluadas, además en algunas de ellas no presentaron diferencias significativa, sin embargo, el *Alnus acuminata* muestra un alto porcentaje de supervivencia lo que lo convierte en una buena opción para el establecimiento en esta zona, por otro lado la *Erythrina edulis* presentó en todas las variables evaluadas una diferencia significativa con respecto a las otras especies, mostrando un bajo desarrollo y alta mortalidad, lo que indica que es una especie que no tolera suelos arenosos

con alta acidez y bajo drenaje, así mismo se implantó a una altura sobre el nivel del mar considerable lo que podría llegar hacer otro obstáculo en su desarrollo.

7 Recomendaciones

Se sugiere que para este suelo con diversas limitantes, sea diseñado e implementado modelos silvopastoriles o agrosilvopastoriles más intensivos que permitan un desarrollo dinámico de los distintos componentes bióticos y abióticos del suelo.

Al tener en cuenta que la toma de datos de las variables fueron tres, se recomienda el seguimiento de estas, para la confirmación de los resultados arrojados en el presente proyecto.

Es conveniente seguir con los procesos de fertilización y aplicación de enmiendas para que difieran en el desarrollo de la planta, además continuar con los manejos silviculturales que se requieran.

Es indispensable contar con un análisis de suelo antes de realizar una fertilización, ya que se debe tener en conocimiento lo que hay en ese suelo y lo que requiere, de este modo evitaremos la perdida de elementos por lixiviado o la toxicidad de algunos de ellos.

Para el problema de compactación del suelo se recomienda un rompimiento de este con arado o manual en tiempo seco, pero no se sugiere la labranza con maquinaria, además aumentar el estrato arbóreo que ayude con la descomposición de sus residuos y su sistema radicular a la meteorización biológica, teniendo en cuenta la alta rocosidad del lugar.

Referencias Bibliográficas

- Acero Duarte, L. E., & Barrera Marín, N. (1996). Chachafruto o balú *Erythrina edulis* T. Cultivo y aprovechamiento.
- Acero, L. E. (2002). Guía para el cultivo y aprovechamiento del Chachafruto o Balú (*Erythrina edulis*) Triana ex Micheli. (Convenio A). Recuperado de <http://babel.banrepcultural.org/cdm/ref/collection/p17054coll10/id/1300>.
- Arciniegas, S. P., & Flórez, D. F. (2018). Study of silvopastoral systems as an alternative for the sustainable management of livestock. *Cien. Agri.*, 15(2), 107–116. Recuperado de <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.2>.
- Ataroff, M., & Sarmiento, L. (2003). Diversidad en Los Andes de Venezuela. I Mapa de unidades ecológicas del estado Mérida. In *Universidad de Los Andes*, (Instituto).
- Bartholomaeus, A., Cortes, A., Santos, J., Acero, Luis, E., & Moosbrugger, W. (1998). El manto de la tierra, flora de los andes (Corporación).
- Bemhaja, M. (2001). Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos arenosos. *Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos*.
- Borel, R. (1989). Interacciones en sistemas agroforestales hombre-árbol-cultivo-animal. In *Avances en la investigación agroforestal* (CATIE, pp. 119--138). Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=JHQQAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA119&dq=interaccion+arbol+animal+en+un+sistema+silvopastoril&ots=g-wsj8sfcx&sig=n0ugzDvHV5quSsvW1MmuLjv-pks#v=onepage&q=interaccion+arbol+animal+en+un+sistema+silvopastoril&f=false>.
- Budowski, G. (1979). Sistemas agroforestales en América tropical. Recuperado de

http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/3993/Sistemas_agroforestales_en_America_Tropical.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Castellanos, J. Z. (2000). Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua.

Chonchol, J. (1994). Sistemas agrarios en América Latina De la etapa prehispánica a la modernización conservadora. *Fondo de Cultura Económica*, 445.

Corpoboyacá. (2012). Capítulo I. Descripción de las especies vegetales producidas en los viveros de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá - Corpoboyacá. *1*, 37.

Crespo, G. (2008). Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 329–335. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015490001>.

Del Pozo, P. P. (2019). Vista de Los sistemas Silvopastoriles. Una alternativa para el manejo ecológico de los pastizales: Experiencias de su aplicación en Cuba. *Cuadernos de Agroecología*. Recuperado de <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/2539/2251>.

Dota Bermeo, G. D., & González Pacheco, J. K. (2019). Análisis de crecimiento y supervivencia de especies nativas en corredores forestales, dentro de programas silvopastoriles, en dos parroquias del cantón Azogues. *Universidad del Azuay, facultad de ciencia y tecnología, escuela de biología ecología y gestión*. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9602/1/15235.pdf>.

Escobar Pachajoa, L. D., Guatusmal Gelpud, C., Meneses Buitrago, D. H., Cardona Iglesias, J. L., & Castro Rincón, E. (2019). Evaluation of arboreal and shrub strata in a silvopastoral system in Colombian high Andean tropics. *Agronomy Mesoamerican*, 30(3), 803–819. Recuperado de <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35645>.

FAO. (2010). Ganadería y deforestación. *Revista Políticas Pecuarias*, 3, 1–8. Recuperado de www.lead.virtualcentre.org.

FAO, F. and A. O. of the U. N. (2009). Guía para la descripción de suelos.

FAO, F. and A. O. of the U. N. (2015). Guía metodológica para la implementación de Escuelas de Campo para Agricultores (ECA) en sistemas silvopastoriles agroecológicos. Recuperado de www.fao.org/colombia.

González Gordon, R. A., Alvares Albanes, E. Y., & Castañeda Sánchez, D. A. (2018). Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros de la subregión del Nordeste y Urabá Antioqueño. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1), 41–52. Recuperado de <https://doi.org/10.23850/24220582.730>.

Hervé, A., & Lynne, J. W. (2010). *Newman-Keuls Test and Tukey Test* (p. 11). Recuperado de <https://wwwpub.utdallas.edu/~herve/abdi-NewmanKeuls2010-pretty.pdf>.

Ibañez, C., Palomeque, S., & Fontúrbel, F. (2004). Elementos principales del suelo, geodinámica y dinámica de los principales componentes del suelo.

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. *Introduccion a La Ciencia Del Suelo*, 619.

Lazara, O., Alden, F., Gálvez, V., Morales, R., Sánchez, I., Labaut, M., Vento, M., Cintra, M., & Rivero, L. (2008). Caracterización y evaluación de la salinidad. *Instituto de Suelo. Ministerio de La Agricultura*, 537, 1–9. Recuperado de <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5420/salinidad.pdf>.

López, R. (2002). *Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de los

- Andes. Recuperado de <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>.
- Informe de gestión 2018, Minambiente 149 (2019). Recuperado de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Monroy, D. (2016). Diseño e implementación de un sistema silvopastoril en la finca Las Mercedes municipio de Combita. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21637/23438675..pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. In *Sistemas Agroforestales*. Recuperado de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7124/SistemasAgroforestales.pdf?sequence=1#page=276>.
- Montecinos, A. J., Montalva, G. A., & Vargas, J. (2008). Comparación y proposición de métodos para determinar la conductividad hidráulica en arenas limosas. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, 23(2), 147–152.
- Moutinho, P., Santilli, M., Schwartzman, S., & Rodrigues, L. (2005). Por qué ignorar la deforestación tropical? Una propuesta de incluir la conservación de los bosques en el Protocolo de Kyoto. (Unasyuva).
- Muñoz, D., Calvache, D., & Yela, J. (2013). Especies forestales con potencial agroforestal para las zonas altas en el departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 30(1), 38–53.
- Ojeda, P. A., Restrepo, J. M., Villada, D., & Gallego, J. cesario. (2003). Una Opción para el Manejo Sustentable de la Ganadería Sistemas Silvopastoriles, Manual de Capacitación. Recuperado de

[http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3911/2/2006102417332_Sistemas silvopastoriles sustentable ganaderia.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3911/2/2006102417332_Sistemas%20silvopastoriles%20sustentable%20ganaderia.pdf).

Ospina, A. A. (2008). Aproximación a la Identificación Agroforestal. *Actualización: 1/04/08* Alfredo Ospina A. / Ingeniero Agrónomo / Colombia, 1–46.

Ospina Penagos, C. M., Hernández restrepo, R. J., Gómez Delgado, D. E., Godoy Bautista, J. A., Aristizábal Valencia, F. A., Patiño Castaño, J. N., & Medina Ortega, J. Á. (2005). El Aliso o Cerezo Guías silviculturales. *Cenicafé*, 37.

Pérez López, E. (2013). Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *InterSedes: Revista de Las Sedes Regionales*, XIV(29), 6–18.

Pezo, D., & Ibrahim, M.(1999). Sistemas silvopastoriles. CATIE. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BrWHDQcM7PwC&oi=fnd&pg=PR7&dq=tipos+de+sistemas+silvopastoriles&ots=wqVQpPYG5a&sig=gW2kh1W1MLTufyVyiWX5HMecXIE#v=onepage&q=tipos de sistemas silvopastoriles&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BrWHDQcM7PwC&oi=fnd&pg=PR7&dq=tipos+de+sistemas+silvopastoriles&ots=wqVQpPYG5a&sig=gW2kh1W1MLTufyVyiWX5HMecXIE#v=onepage&q=tipos%20de%20sistemas%20silvopastoriles&f=false).

Putty, M. (2017). Trópicos, más propensos a la erosión del suelo. *SciDev.Net América Latina y El Caribe*. Recuperado de <https://www.scidev.net/america-latina/agua/noticias/tropicos-mas-propensos-a-la-erosion-del-suelo.html>.

Rodríguez Castro, M., & Barrera Pardo, D. (2007). Evaluación de variables de establecimiento de ssp de sombra y ramoneo con *Acacia decurrens*, *Acacia melanoxylon*, y *Alnus acuminata*, en bosque seco montano bajo y su efecto sobre el suelo y la calidad de la pastura. Recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/171>.

Rojas, J. J. (2015). Fertilidad de suelos en plantaciones forestales del trópico colombiano [Universidad Nacional de Colombia]. Recuperado de

<http://bdigital.unal.edu.co/51111/1/98452226.2016.pdf>.

Toruño, I., Mena, M., & Falguni, G. (2015). Establecimiento y manejo de Sistemas silvopastoriles. *February*. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Uribe, A. F. (1996). Sistemas Silvopastoriles: Alternativa para una ganadería moderna y competitiva.

Vallejo Quintero, V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83. Recuperado de <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a06>.

Villarroel, J. A. (1988). Manual Práctico para La Interpretación de Análisis de Suelos en Laboratorio. 47. Recuperado de [http://atlas.umss.edu.bo:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/142/MANUAL PRACTICO ST10.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://atlas.umss.edu.bo:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/142/MANUAL_PRACTICO_ST10.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Wall, G., & Ferrari, A. (2004). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 105(2), 151–175.

Apéndices

Apéndice A. Visualización de datos en el programa R-Project.

The screenshot shows the R environment interface. The R Console window displays the R version (3.4.2) and the loaded data. The R Data: Datos window shows a data table with the following columns: ID, Arbol, Especie, Medicion, dac, Ht, and IndBiomasa. The data is as follows:

ID	Arbol	Especie	Medicacion	dac	Ht	IndBiomasa	
1	2	1	Erythrina edulis	2020-02-27	0.90	7.0	5.67000
2	3	2	Erythrina edulis	2020-02-27	0.65	7.0	2.95750
3	4	3	Erythrina edulis	2020-02-27	1.15	14.5	19.17625
4	5	4	Erythrina edulis	2020-02-27	0.73	14.0	7.46060
5	6	5	Erythrina edulis	2020-02-27	0.90	10.5	8.50500
6	7	6	Erythrina edulis	2020-02-27	0.85	16.5	11.92125
7	8	7	Erythrina edulis	2020-02-27	1.32	34.0	59.24160
8	9	8	Erythrina edulis	2020-02-27	1.22	18.5	27.53540
9	10	9	Acacia melanoxylon	2020-02-27	1.32	85.0	148.10400
10	11	10	Erythrina edulis	2020-02-27	1.20	20.0	28.80000
11	12	11	Erythrina edulis	2020-02-27	1.10	13.0	15.73000
12	13	12	Erythrina edulis	2020-02-27	1.10	11.5	13.91500
13	14	13	Acacia melanoxylon	2020-02-27	0.90	70.0	56.70000
14	15	14	Erythrina edulis	2020-02-27	0.90	9.5	7.69500
15	16	15	Erythrina edulis	2020-02-27	1.10	16.5	19.96500
16	17	16	Acacia melanoxylon	2020-02-27	1.10	96.5	116.76500
17	18	17	Erythrina edulis	2020-02-27	1.10	14.5	17.54500
18	19	18	Erythrina edulis	2020-02-27	0.70	11.5	5.63500
19	20	19	Erythrina edulis	2020-02-27	1.13	14.5	18.51505

Apéndice B. Tabla de valores para la variable Dac.

```
Study: aov(dac ~ Especie, Datos) ~ "Especie"

HSD Test for dac

Mean Square Error: 0.1283781

Especie, means

              dac      std   r  Min  Max
Acacia melanoxylon 1.1304058 0.3411290 345 0.45 2.20
Alnus acuminata    1.2915344 0.4298432 189 0.50 2.50
Erythrina edulis   0.9941414 0.2497223  99 0.50 1.95

Alpha: 0.05 ; DF Error: 630
Critical Value of Studentized Range: 3.322359

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

              dac groups
Alnus acuminata 1.2915344   a
Acacia melanoxylon 1.1304058   b
Erythrina edulis 0.9941414   c
```

Apéndice C. Tabla de valores para la variable Ht.

```

              no      sum      t      min      max
Acacia melanoxylon 81.61913 22.224904 345  1.7 160
Alnus acuminata    53.82804 21.859885 189 12.5 106
Erythrina edulis   14.77778  5.460537  99  7.0  35

Alpha: 0.05 ; DF Error: 630
Critical Value of Studentized Range: 3.322359

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

              Ht groups
Acacia melanoxylon 81.61913    a
Alnus acuminata    53.82804    b
Erythrina edulis   14.77778    c

```

Apéndice D. Tabla de valores para la variable área de copa.

```

Study: aov(AreaCopa ~ Especie, Datos) ~ "Especie"

HSD Test for AreaCopa

Mean Square Error: 489324.3

Especie, means

              AreaCopa      std      r      Min      Max
Acacia melanoxylon 643.4999 422.4207 346 91.89159 3562.566
Alnus acuminata    1464.3634 1128.2614 189 69.11504 5216.615
Erythrina edulis   291.7437  283.6184  99 27.48894 1550.376

Alpha: 0.05 ; DF Error: 631
Critical Value of Studentized Range: 3.322346

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

              AreaCopa groups
Alnus acuminata    1464.3634    a
Acacia melanoxylon 643.4999    b
Erythrina edulis   291.7437    c

```

Apéndice E. Tabla de valores para la variable índice de biomasa.

```

Study: aov(IndBiomasa ~ Especie, Datos) ~ "Especie"

HSD Test for IndBiomasa

Mean Square Error: 11731.8

Especie, means

      IndBiomasa      std   r   Min   Max
Acacia melanoxylon 125.98157 113.02768 346 0.000 769.560
Alnus acuminata    122.96790 125.71860 189 3.125 631.250
Erythrina edulis   17.33455  15.62628  99 1.875  91.854

Alpha: 0.05 ; DF Error: 631
Critical Value of Studentized Range: 3.322346

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

      IndBiomasa groups
Acacia melanoxylon 125.98157   a
Alnus acuminata    122.96790   a
Erythrina edulis   17.33455   b

```

Apéndice F. Resultado TukeyHSD para la variable *Dac*.

```
> summary(aov(dac~Especie,Datos))
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Especie    2   6.29   3.1453    24.5 5.67e-11 ***
Residuals 630  80.88   0.1284
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
1 observation deleted due to missingness
> TukeyHSD(aov(dac~Especie,Datos))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = dac ~ Especie, data = Datos)

$Especie
              diff            lwr            upr
Alnus acuminata-Acacia melanoxylon  0.1611286  0.08495452  0.23730267
Erythrina edulis-Acacia melanoxylon -0.1362644 -0.23223568 -0.04029309
Erythrina edulis-Alnus acuminata    -0.2973930 -0.40182285 -0.19296310
              p adj
Alnus acuminata-Acacia melanoxylon  0.0000026
Erythrina edulis-Acacia melanoxylon  0.0025912
Erythrina edulis-Alnus acuminata    0.0000000
```

Apéndice G. Resultado TukeyHSD para la variable *Ht*.

```
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Especie    2 365703  182852   438.5 <2e-16 ***
Residuals 630 262676    417
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
1 observation deleted due to missingness
> TukeyHSD(aov(Ht~Especie,Datos))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Ht ~ Especie, data = Datos)

$Especie
              diff            lwr            upr p adj
Alnus acuminata-Acacia melanoxylon -27.79109 -32.13221 -23.44997  0
Erythrina edulis-Acacia melanoxylon -66.84135 -72.31071 -61.37200  0
Erythrina edulis-Alnus acuminata    -39.05026 -45.00167 -33.09886  0
```

Apéndice H. Resultado TukeyHSD para la variable área de copa.

```

              Df    Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Especie      2 116766939 58383470  119.3 <2e-16 ***
Residuals   631 308763651  489324
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
> TukeyHSD(aov(AreaCopa~Especie,Datos))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = AreaCopa ~ Especie, data = Datos)

$Especie
              diff             lwr             upr      p adj
Alnus acuminata-Acacia melanoxylon    820.8636    672.2234    969.5038 0.00e+00
Erythrina edulis-Acacia melanoxylon  -351.7562   -539.0626   -164.4498 3.58e-05
Erythrina edulis-Alnus acuminata   -1172.6198  -1376.5004  -968.7391 0.00e+00

```

Apéndice I. Resultado TukeyHSD para la variable índice de biomasa.

```

              Df    Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Especie      2  968011  484006   41.26 <2e-16 ***
Residuals   631 7402764   11732
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
> TukeyHSD(aov(IndBiomasa~Especie,Datos))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = IndBiomasa ~ Especie, data = Datos)

$Especie
              diff             lwr             upr      p adj
Alnus acuminata-Acacia melanoxylon   -3.013666   -26.02915    20.00182 0.9491815
Erythrina edulis-Acacia melanoxylon -108.647023  -137.64960   -79.64445 0.0000000
Erythrina edulis-Alnus acuminata   -105.633357  -137.20229   -74.06442 0.0000000

```

Apéndice J. Análisis de suelos del predio.

INFORME N 40850 WILMER VALERO RODRIGUEZ 26/08/2019 9:54:29 a.m.


**REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO
DE SERVICIOS UNA MUESTRA
GESTIÓN DE LA AGENDA CORPORATIVA**

 ISO/IEC 17025:2005
13-LAB-031

LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA (Química de suelos)

1. Información del cliente

NOMBRE Y APELLIDO: WILMER VALERO RODRIGUEZ
CÉDULA O NIT: 1096954426
DIRECCIÓN: VDA SANTA CRUZ
DEPARTAMENTO: SANTANDER
MUNICIPIO: SAN ANDRÉS
TEL, FIJO/CEL: 3124612463 / 3124612463
TIPO DE ANALISIS: SUELOS-QUÍMICA-FERTILIDAD COMPLETO (LQA) EXT

DE SOLICITUD 40850

CODIGO DE LABORATORIO LQAS19-005437
--

2. Información de la muestra

IDENTIFICACIÓN: No indica **ALTURA:** 2669m.s.n.m
MATRIZ: Suelos **PROFUNDIDAD :** 0 a 60 cm
VEREDA: Santa Cruz **TIPO DE RIEGO** No Tiene
FINCA: El Pajal **TOPOGRAFIA:** Ligeramente ondulado
PRODUCTOR: Wilmer Valero Rodriguez **DRENAJE:** Buen drenaje
CULTIVO(S): Silvopastoril variedad No indica con 0 Día(s) de edad y Acacia variedad Melanoxilon con 0 Día(s) de edad

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia con acreditación ONAC vigente a la fecha, con código de acreditación 13-LAB-031, bajo la norma ISO/IEC 17025:2005

El laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 en los ensayos de: pH (VC_R_004 versión 03 de 2017-01-28), fósforo disponible Bray II (VC_R_007 versión 02 de 2017-09-22), conductividad eléctrica en suelos (NTC 5596:2008), cationes cambiables en suelo calcio, magnesio, potasio y sodio disponibles (ID_R_072 versión 5 de 2017-09-28), micronutrientes en suelo por Olsen modificado Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc (NTC 5526:2007)".

FECHA DE RECEPCIÓN 2019-08-12
FECHA DE ANÁLISIS: De 12/08/2019 a 22/08/2019
FECHA DE REPORTE: 2019/08/26

Yeni Rodríguez Giraldo

Coordinador técnico del laboratorio de Química Analítica

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACION
pH (1:2,5)	Unidades de pH	VC-R-004 Versión 03	4.63	Fuerte a extremadamente ácido
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	NTC 5596:2008	0.13	No salino
Materia Orgánica (MO)	g/100g	Walkey & Black	3.67	Bajo
Fosforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	VC-R-007 Versión 2	11.62	Bajo
Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	3.59	Bajo
Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	3.39	Baja
Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	0.03	Bajo
Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl	2.51	No Indica
Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	2.02	Con restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	ID-R-072 Versión 5	<0.59	Bajo
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	ID-R-072 Versión 5	<0.20	Bajo
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	ID-R-072 Versión 5	0.10	Bajo
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	ID-R-072 Versión 5	<0.14	Normal
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007	117.85	Alto
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007	<1.00	Bajo
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007	1.68	Bajo
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007	<1.00	Bajo

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3
CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATÁ
KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA)
TELÉFONOS: 4227300 EXTENSION: 1369
suelos@agrosavia.co

GA-F-97

Versión: 3

INFORME N 40850 WILMER VALERO RODRIGUEZ 26/08/2019 9:54:29 a.m.

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

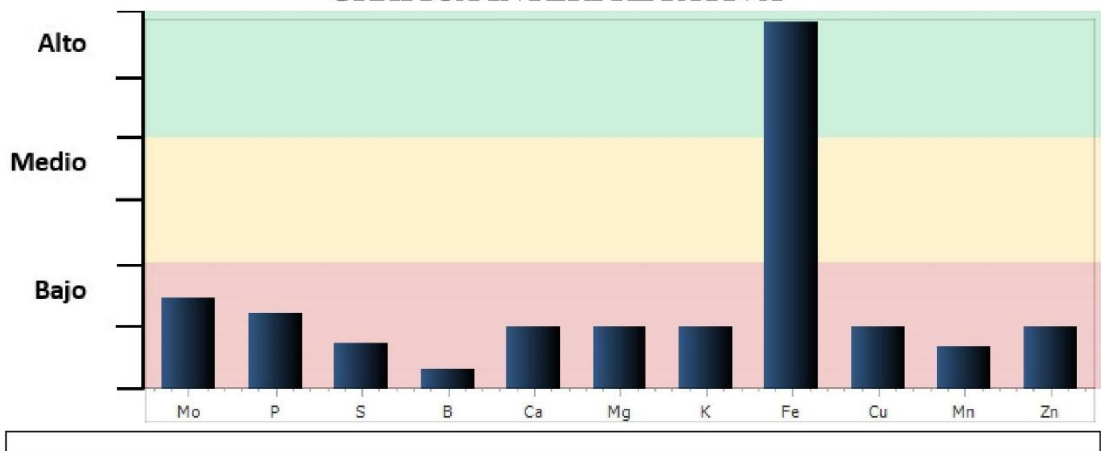


**REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO
DE SERVICIOS UNA MUESTRA
GESTIÓN DE LA AGENDA CORPORATIVA**

ISO/IEC 17025:2005
13-LAB-031

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACION
		gravimetría		
Saturación de Calcio	%	Cálculo	17	Bajo
Saturación de Magnesio	%	Cálculo	5	Bajo
Saturación de Potasio	%	Cálculo	3	Medio
Saturación de Sodio	%	Cálculo	2	Normal
Saturación de Aluminio	%	Cálculo	60	Restringido

GRAFICA INTERPRETATIVA



Los resultados son validos unicamente para la muestra en referencia

Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma.

Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de Agrosavia.

Para peticiones, quejas y solicitudes de información, comuníquese al correo electrónico atencionalcliente@agrosavia.co o a la línea telefónica 018000121515

FIN DEL INFORME

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3
CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATÁ
KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA)
TELÉFONOS: 4227300 EXTENSION: 1369
suelos@agrosavia.co

GA-F-97

Versión: 3

Apéndice K. Paisaje del predio del proyecto.



Apéndice L. Afectaciones al bosque nativo.



Apéndice M. Etapa de vivero.

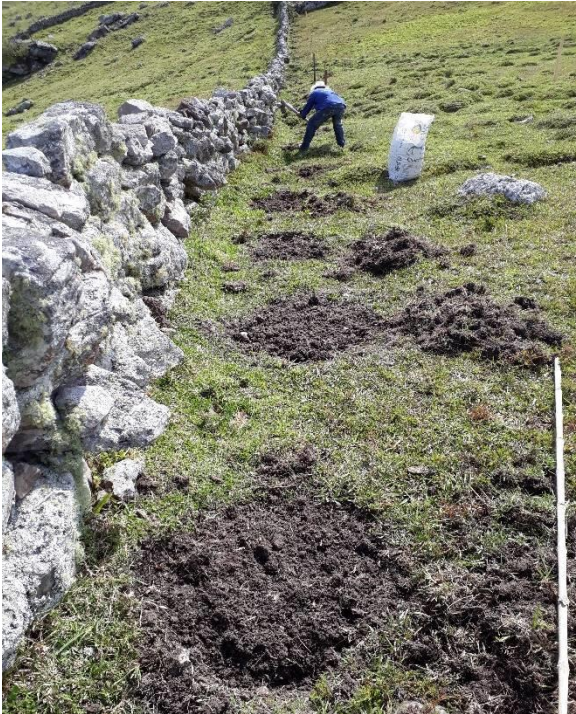






Apéndice N. Cercado, ahoyado.





Apéndice O. Trasplante de las especies.





Apéndice P. Fertilización y enmiendas.





Apéndice Q. Toma de datos de características edáficas.







Apéndice R. Tama de datos de las variables evaluadas.





Apéndice S. Poda y plateado de las especies.





Apéndice T. Sistema silvopastoril establecido.





