

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



## FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

### CARRERA DE DESARROLLO INTEGRAL AGROPECUARIO

Tema: “Estimación del carbono almacenado en la biomasa de dos sistemas silvopastoriles con Aliso (*Alnus acuminata*) y Acacia (*Acacia melanoxylon R. Br.*); y en un pastizal convencional con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Trébol Blanco (*Trifolium repens*), en la Parroquia El Carmelo, Carchi-Ecuador.”

Trabajo de titulación previa la obtención del  
título de Ingeniería en Desarrollo Integral Agropecuario

AUTORA: Xiomara Sepúlveda Cayambe

TUTOR: Ing. Hernán Benavides M.Sc

TULCÁN - ECUADOR

2018

## CERTIFICADO JURADO EXAMINADOR

Certificamos que la estudiante Xiomara Sepúlveda Cayambe con el número de cédula 1752266401 ha elaborado el trabajo de titulación: “Estimación del carbono almacenado en la biomasa de dos sistemas silvopastoriles con Aliso (*Alnus acuminata*) y Acacia (*Acacia melanoxylon R. Br.*); y en un pastizal convencional con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Trébol Blanco (*Trifolium repens*), en la Parroquia El Carmelo, Carchi-Ecuador.”

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de Titulación, Sustentación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizamos la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

.....  
**Ing. Hernán Benavides M.Sc.**

.....  
**Ing. Marcelo Ibarra M.Sc.**

Tulcán, 11 de octubre de 2018

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

El presente trabajo de titulación constituye requisito previo para la obtención del título de Ingeniera de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales.

Yo, Xiomara Sepúlveda Cayambe con cédula de identidad número 1752266401 declaro: que la investigación es absolutamente original, autentica, personal. Los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

.....

**Xiomara Sepúlveda Cayambe**

Tulcán, 11 de octubre de 2018

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Xiomara Sepúlveda Cayambe declaro ser autora de los criterios emitidos en el trabajo de investigación: “Estimación del carbono almacenado en la biomasa de dos sistemas silvopastoriles con Aliso (*Alnus acuminata*) y Acacia (*Acacia melanoxylon R. Br.*); y en un pastizal convencional con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Trébol Blanco (*Trifolium repens*), en la Parroquia El Carmelo, Carchi-Ecuador.” y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

.....

**Xiomara Sepúlveda Cayambe**

Tulcán, 11 de octubre de 2018

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios quién ha guiado mi camino, y me ha dado la fuerza para luchar por mis metas, además de brindarme la sabiduría necesaria para afrontar y no decaer ante los obstáculos que se han presentado a lo largo de mi vida, y así lograr los objetivos planteados.*

*A la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI por abrir sus puertas y formarme como una profesional, así como también a los docentes quienes me brindaron sus conocimientos y apoyo para salir adelante día a día.*

*A mi tutor el Ing. Hernán Benavides M.Sc quien me brindo todos sus conocimientos, tiempo y paciencia, además de su colaboración en la prestación de su finca para desarrollar el estudio de campo. A el lector Ing. Marcelo Ibarra M.Sc por su colaboración y tiempo brindado durante el desarrollo de esta investigación.*

*De igual manera quiero agradecer a la FUNDACIÓN CONDESAN por brindar su apoyo tanto económico como profesional para el cumplimiento del proyecto.*

*Y como no, mis más grandes agradecimientos a mi familia, quienes me apoyaron y me guiaron en este arduo camino.*

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo de investigación se lo dedico a mi madre, mi más grande inspiración, ella la mujer que me dio todo su apoyo para salir adelante, además de sus consejos, porque gracias a ellos soy una gran mujer.*

*A mi amado esposo por brindarme todo su apoyo, amor y cariño, tu ayuda fue fundamental e incondicional para lograr este objetivo.*

*A mi amada hija Abigail, quien es mi vida entera, mi motivación para seguir adelante y luchar por una vida mejor.*

*A mis hermanas porque siempre creyeron en mí, y que con sus palabras de aliento nunca me dejaron decaer.*

*A mi padre, a pesar de que no estuvo durante este proceso, su apoyo durante una etapa de mi vida fue muy importante.*

*A toda mi familia, que siempre estuvo brindando su ayuda y consejos.*

## ÍNDICE

CERTIFICADO JURADO EXAMINADOR .....	I
AUTORÍA DE TRABAJO .....	II
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
DEDICATORIA .....	V
RESUMEN .....	X
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN .....	XI
I. PROBLEMA .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.4.1. Objetivo General .....	3
1.4.2. Objetivos Específicos .....	3
1.4.3. Preguntas de Investigación .....	3
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	4
2.2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.2.1. Almacenamiento y fijación de carbono .....	9
2.2.2. El dióxido de carbono y el efecto invernadero .....	9
2.2.3. Parámetros utilizados para estimar el carbono .....	11
2.2.4. Biomasa .....	11
2.2.5. Modelos alométricos .....	13
2.2.6. Sistemas agroforestales y la fijación de carbono.....	13
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO.....	17
3.1.1. Enfoque cuantitativo.....	17
3.1.2. Tipo de Investigación .....	17

3.2. HIPÓTESIS O IDEA A DEFENDER .....	17
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	18
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS .....	20
3.4.1. Área de estudio .....	20
3.4.2. Caracterización de los sistemas silvopastoriles .....	20
3.4.3. Fases de trabajo de investigación .....	21
3.4.5. Metodología para la estimación de la biomasa.....	23
3.4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1. RESULTADOS .....	28
4.1.1. Prueba de normalidad de la biomasa del sistema de Acacia y Aliso.....	28
4.1.2. Prueba de normalidad de la materia orgánica del Sistema de Acacia, Aliso y Sistema convencional (pasto) .....	28
4.1.3. Prueba t student para las medias de la biomasa área entre los sistemas de Acacia y Aliso .....	29
4.1.4. Análisis de varianza para la materia orgánica de la vegetación herbácea entre sistemas en cada evento.....	30
4.1.5. Coeficiente de determinación de Acacia y Aliso .....	31
4.1.6. Biomasa Aérea y Carbono acumulado en los sistemas de Acacia y Aliso...	32
4.1.7. Materia orgánica y Carbono acumulado en los sistemas de Acacia, Aliso y el pastizal convencional.....	35
4.2. DISCUSIÓN .....	37
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
5.1. CONCLUSIONES .....	40
5.2. RECOMENDACIONES.....	41
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	I
VII. ANEXOS.....	VI



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Representatividad del área .....	23
Tabla 2. Ecuaciones alométricas evaluadas para la estimación de biomasa en Acacia y Aliso. .....	24
Tabla 3. Ecuaciones alométricas seleccionadas para estimar la biomasa arbórea.....	25
Tabla 4. Prueba de normalidad de la biomasa del Sistema de Acacia y Aliso .....	28
Tabla 5. Prueba de normalidad de materia orgánica del Sistema de Acacia, Aliso y sistema convencional (pasto).....	29
Tabla 6. Prueba t student para las medias de la biomasa área entre los sistemas de Acacia y Aliso en eventos.....	29
Tabla 7. ADEVA de un factor para la materia orgánica de la vegetación herbácea entre Sistema de Acacia, Aliso y Pasto convencional .....	30
Tabla 8. Mega gramos de biomasa aérea (BA) y carbono (C) acumulado en los sistemas de Aliso y Acacia en siete meses, la proyección de acumulación en un año y los contenidos totales para extensión total de cada sistema.....	33
Tabla 9. Mega gramos de Materia orgánica en la vegetación herbácea (MO) y Carbono (C) acumulado en los sistemas de Acacia, Aliso y el sistema convencional (Pasto), la proyección de acumulación en un año y los contenidos totales para extensión total de cada sistema	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Medición correcta con el pie de rey.....	12
<i>Figura 2.</i> Ubicación parroquial .....	20
<i>Figura 3.</i> Disposición de sistemas en la finca San Vicente.....	21
<i>Figura 4.</i> Ajuste de los datos de biomasa en el sistema de Acacia a la ecuación alométrica de Nelson en la primera medición (línea base).....	31
<i>Figura 5.</i> Ajustes de los datos de biomasa en el sistema de Aliso a la ecuación alométrica de Nelson en la primera medición (línea base).....	32
<i>Figura 6.</i> Biomasa aérea acumulada (Mg/ha), reportada para dos sistemas silvopastoriles de Acacia y Aliso durante los siete meses de estudio.....	33
<i>Figura 7.</i> Carbono acumulado en Mg, presente en los dos sistemas silvopastoriles durante los siete meses de estudio. ....	34
<i>Figura 8.</i> Media de carbono aéreo en kg presente en cada individuo de los sistemas de Acacia y Aliso, durante los tres eventos .....	35
<i>Figura 9.</i> Materia orgánica (Mg/ha) presente en los sistemas silvopastoriles y convencional, durante los siete meses de estudio. ....	36
<i>Figura 10.</i> Carbono acumulado (Mg) en los sistemas silvopastoriles y convencional, durante los siete meses de estudio. ....	36
<i>Figura 11.</i> Promedio de carbono en gramos presente en la vegetación herbácea de los dos sistemas silvopastoriles y el sistema convencional durante los tres monitoreos realizados. ....	37
<i>Figura 12.</i> Registro de datos primarios de leñosas.....	VI
<i>Figura 13.</i> Registro de datos primarios de análisis en la vegetación herbácea en los tres sistemas.....	VI
<i>Figura 14.</i> Comparación de porcentajes de cenizas y materia orgánica en los tres sistemas .....	VII
<i>Figura 15.</i> Informe de laboratorio .....	IX

## RESUMEN

La presente investigación se plantea: estimar la cantidad de carbono almacenado como biomasa en dos sistemas silvopastoriles juveniles con las especies leñosas Aliso (*Alnus acuminata*) y Acacia (*Acacia melanoxylon R. Br.*); y compararlos con un pastizal convencional mixto de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) asociado a Trébol Blanco (*Trifolium repens*), utilizando un diseño experimental de bloques completamente al azar. Se determinó que la cantidad de carbono acumulado por la biomasa arbórea es superior en el Aliso. La biomasa herbácea se determinó en laboratorio mediante la cuantificación de materia orgánica, encontrando que el carbono acumulado en ella no difiere significativamente. Se concluyó al final del periodo de evaluación que los sistemas silvopastoriles son un eficiente sumidero de carbono siempre que se elija una especie adecuada para la implantación, que la biomasa aérea es superior en cantidad en el Aliso y que la biomasa herbácea es mayor en el pastizal convencional, seguido de la acacia y finalmente el aliso.

**Palabras clave:** *biomasa, silvopastoril, materia orgánica, sumidero de carbono.*

## ABSTRACT

The present investigation proposes: to estimate the amount of carbon stored as biomass in two juvenile silvopastoral systems, with the woody species Aliso (*Alnus acuminata*) and Acacia (*Acacia melanoxylon R Br.*); and compare them with a mixed conventional pastureland of Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) associated with White Trefoil (*Trifolium repens*), using a completely randomized block experimental design. It was determined that the amount of carbon accumulated by the tree biomass is higher in the Aliso. The herbaceous biomass was determined in the laboratory by means of the quantification of organic matter, finding that the carbon accumulated in it does not differ significantly. Concluding at the end of the evaluation period that the silvopastoral systems are an efficient carbon sink, when a suitable species is chosen for the implantation, that the aerial biomass is higher in quantity in the Aliso and that the herbaceous biomass is greater in the conventional pastureland, followed by the acacia and finally by the Aliso.

**Key words:** *biomass, silvopastoral, organic matter, carbon sink.*

## INTRODUCCIÓN

Las actividades antrópicas, como la expansión de la frontera agrícola, las malas prácticas agrícolas, la explotación desmedida de los suelos, las actividades extractivistas y el aumento poblacional han alterado la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas naturales, como el ecosistema alto andino del Ecuador, lo que ha incidido en la degradación ambiental, la disminución de las funciones ecológicas, el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y en el aumento de problemas de salud humana (Acuña, 2006).

Con énfasis en la expansión de la frontera agrícola y pecuaria y sus efectos negativos sobre el ambiente como consecuencia del uso de equipos agrarios para la preparación del suelo, la aplicación de agroquímicos y la falta de un buen manejo y disposición de los desechos generados (Tapia, 2015). Estas acciones pueden ocasionar la contaminación de recursos como el suelo y el agua, ocasionar incendios forestales, y afectar gravemente a la biodiversidad (Ministerio del Ambiente, 2015). Esto ha provocado la desaparición de especies vegetales, acelerando la erosión del suelo, y desestabilizando las capas freáticas favoreciendo a las inundaciones o sequías (SINERGIA, 2016).

La tasa de retorno de los recursos naturales no va en relación con el ritmo de su explotación, y su abastecimiento en muchos casos se está volviendo insostenible a mediano o largo plazo (Landázuri & Jijón, 1986). A nivel nacional la tasa de deforestación anual del Ecuador continental se estimaba en un 0,58% entre el 2000 y 2008 (Ministerio del Ambiente, 2015). Sin embargo, en Ecuador el índice anual de la pérdida de los bosques nublados es del 1,1%, por lo que actualmente el bosque andino se halla fragmentado en parches o remanentes de poca superficie; este factor, sumado a las actividades antrópicas antes mencionados, son causales de la degradación de los recursos naturales y afectan gravemente el equilibrio y la funcionalidad de los ecosistemas naturales (La Hesperia Biological Station, 2008). Por lo tanto, todo esto ha provocado un deterioro de hábitat de muchas especies de plantas y animales, así como la pérdida de servicios ambientales que proveen estos ecosistemas, como la regulación hídrica y el secuestro de carbono; en este sentido, los bosques dejan de cumplir su rol como sumideros de carbono y en lugar de ello se vuelven emisores de importantes cantidades de CO<sub>2</sub> al ambiente. De acuerdo con el Banco Mundial, Ecuador ha emitido en promedio 1,56 toneladas métricas por año, en el período comprendido entre los años 1960 y 2014, con un mínimo de 0,33 toneladas métricas en 1962 y un máximo de 2,76 toneladas

métricas en el 2014 (The Global Economy, 2018). Por otro lado, los sistemas silvopastoriles al ser implementados con éxito representan una alternativa de grandes favores ambientales y económicos, entre estos se incluyen las mejoras de la calidad del aire y de los terrenos donde se aplican, mediante la captura e incorporación de CO<sub>2</sub> como materia orgánica en estos sistemas, además de contribuir a la optimización de la producción animal de la zona.

El presente estudio busca el aprovechamiento de las potencialidades de los sistemas silvopastoriles para generar servicios ambientales como captadores de carbono y disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la introducción de tecnologías para la asociación de leñosas y pasturas, a la vez, también mejoran la calidad de la dieta nutricional de los bovinos, disminuyendo así las emisiones de metano de los animales. Además de constituirse como eficientes sumideros de carbono, ayudan a restaurar áreas degradadas estimulando la regeneración natural y protegen al suelo de la erosión, principalmente en zonas de ladera (Ibrahim, Mora y Delgado, 2006).

# I. PROBLEMA

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional, la extensión de los asentamientos humanos, el crecimiento industrial, actividades agrícolas, ganaderas, mineras, entre otras, van dejando su huella ambiental, y son las principales causas que generan impactos ambientales negativos. Como consecuencia, los recursos naturales, se ven expuestos a un acelerado ritmo de uso y explotación; debido a que sus tasas de retorno no van en relación al ritmo de explotación; en algunos casos, puede volverse insostenible a mediano o largo plazo (Landázuri y Jijón, 1986).

Una de las principales funciones de los ecosistemas, durante el ciclo del carbono es la absorción del mismo en los componentes de la biosfera. Las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> en continuo aumento son absorbidas por la atmósfera, los océanos y los bosques que actúan como sumidero para la captura de carbono. Y de esta manera la estructura y funcionalidad de los ecosistemas naturales en Ecuador se han visto afectadas a causa de la ampliación de la frontera agrícola, prácticas agrícolas intensivas, sobreexplotación de los suelos, crecimiento poblacional, entre otros, incidiendo directamente en la degradación ambiental, disminución de las funciones ecológicas, problemas de salud humana por citar algunos efectos negativos. (Acuña, 2006).

Centrando la atención en el avance de la frontera agropecuaria y su incidencia negativa sobre el ambiente, como la utilización de maquinaria pesada para la preparación de suelo, el uso excesivo de agroquímicos, el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero de origen pecuario como el metano y la falta de manejo y disposición final de los empaques y desechos de estos procesos (Tapia, 2015), que puede ocasionar la contaminación del aire el suelo y agua. Además, las quemas que contribuyen con el incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, constituyen un riesgo latente para la biodiversidad (Ministerio del Ambiente, 2015). Los ecosistemas que han sufrido algún disturbio de índole antrópica o natural alteran su función y estructura cambiando su estado y aumentando su vulnerabilidad y riesgos. La desaparición de los árboles y la cubierta vegetal, aceleran de igual manera la erosión del suelo, y desestabilización de las capas freáticas; multiplicando la carga de sedimentos de los ríos y favoreciendo a las inundaciones o sequías (SINERGIA, 2016). Cabe resaltar que el bosque

andino, en Ecuador, se localiza entre los 2000 y 3800 msnm; y se estima que existe una cobertura de 2'983.673 de hectáreas; donde la tasa de deforestación anual corresponde a 13000 ha anuales (Lozano, 2015).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La expansión de la frontera agrícola en la Provincia del Carchi ha producido deforestación de bosques nativos y secundarios; y como consecuencia ha incidido en la degradación ambiental, y al aumento de gases efecto invernadero, principalmente de dióxido de carbono.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Esta investigación se centrará, en las potencialidades de los sistemas silvopastoriles, como generadores de servicios ambientales; ya que el uso de especies leñosas asociadas a las pasturas, contribuyen a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. La introducción de tecnologías silvopastoriles, como la siembra de árboles en potreros, el uso de cercas vivas, cortinas rompe-vientos y bancos forrajeros, a la vez que mejoran la calidad de la dieta nutricional de los animales (disminuyendo la capacidad de emitir metano de los bovinos), también ayudan a restaurar áreas degradadas para permitir en ellas la regeneración natural y constituirse como sumideros de carbono que proveen beneficios ambientales al productor, como la protección de los suelos contra la erosión, principalmente en zonas de ladera (Ibrahim y Mora Delgado, 2006). Además, de la conservación de los suelos también proveen de nutrientes en los pastizales destinados a la ganadería; asimismo las plantaciones forestales también capturan aguas lluvias principalmente en zonas con pendiente, regulan el clima local, y permiten el albergue de especies de fauna (SERFOR, 2015).

Por lo tanto, esta investigación trata de determinar si los sistemas silvopastoriles, instalados en la finca San Vicente en la parroquia El Carmelo, generan servicios ambientales respecto a la función de sumideros de carbono en el suelo y la biomasa aérea, contrastando los resultados con los contenidos de carbono de un sistema pastizal convencional.

## **1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo General**

Estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de dos sistemas silvopastoriles Aliso (*Alnus acuminata*), Acacia (*Acacia melanoxylon R. Br*), y un pastizal convencional, ubicados en la parroquia El Carmelo, mediante el establecimiento de una línea base y dos monitoreos de control.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Establecer una línea base de contenidos de carbono presente en la biomasa aérea y herbácea en los tres sistemas, Aliso (*Alnus acuminata*) y Acacia (*Acacia megaloxylon*) asociados a pasturas; y, en un pastizal convencional.
- Definir un modelo alométrico conveniente para la cuantificación de biomasa aérea en cada especie arbórea del estudio.
- Determinar el sistema silvopastoril más eficiente para la captura y almacenamiento de Carbono, mediante la cuantificación de la biomasa aérea y herbácea acumulada en cada sistema, a través de la línea base y dos monitoreos.

### **1.4.3. Preguntas de Investigación**

¿Cómo se va a estimar la cantidad de carbono almacenado en los sistemas silvopastoriles del estudio?

¿Cómo se va a establecer la línea base para los contenidos de carbono presentes en la biomasa de los tres sistemas en estudio?

¿Cómo se realizará la elección del modelo alométrico más adecuado para la cuantificación de biomasa en cada uno de nuestros sistemas?

¿Cómo se puede evaluar la eficiencia de los sistemas silvopastoriles en la captura de carbono?



## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El estudio “Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo” de Andrade, Ibrahim, Jiménez, Finegan, y Kass (2000) tuvo como objetivo, estimar el efecto de las especies arbóreas (*A. mangium* y *E. deglupta*) sobre la productividad y la calidad nutricional de tres gramíneas (*B. brizantha*, *B. decumbens* y *P. maximum*) en el SSP (sistema silvopastoril) en el trópico húmedo; para cumplir con el objeto se realizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo de parcelas en curvas de nivel y con tres repeticiones; en donde se estimó la producción de materia seca en las especies de las gramíneas, se realizaron muestreos antes de cada pastoreo, utilizando un marco de 0,5 x 0,5 m, con altura de corte aproximadamente de 10 cm, después se pesó la muestra fresca y luego se secó a una temperatura de 65 °C hasta obtener un peso inmutable, además se estimó la eficiencia de uso de radiación (EUR), en relación con la producción de materia seca, anteriormente mencionada y la radiación fotosintéticamente activa (RAFA) se calculó mediante la radiación global y el porcentaje de transmisión; de acuerdo a todos los análisis realizados, obtuvieron resultados, en donde la gramínea *B. decumbens*, redujo el rendimiento bajo sombra, seguida por *P. maximum*, que supero a *B. brizantha*, y *B. decumbens*, en 81 y 149 %, también el uso de radiación (EUR) la gramínea (*P. máxima*), fue la más eficiente, pues superó a las demás en un 94 %, en cuanto a las especies arbóreas y las posiciones de estos no afectaron significativamente la producción de energía metabolizable y de proteína cruda de los forrajes. De esta manera, se concluye que las especies leñosas no afectaron en la producción de pasturas, ni en su eficiencia y tampoco en la radiación, y que la gramínea *P. máxima* fue la mejor en cuanto al comportamiento productivo de materia seca.

De acuerdo a Machecha, Zoot (2002); en el artículo, “El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina”, explican que los sistemas de producción pueden ser rentables por unidad de área, sin afectar los recursos naturales o perjudicando al ambiente, pues según la investigación, los sistemas silvopastoriles son un tipo de agroforestería, que consideran una opción de producción, en donde las leñosas interactúan con cultivos tradicionales como forrajeras y herbáceas o con componentes es decir animales, bajo un manejo integral, estos árboles pueden ser de

vegetación natural o plantados con otros fines productivos; sin embargo, las principales razones por las cuales los sistemas silvopastoriles han sido demostrados como una alternativa para los sistemas de producción ganaderos, son por los efectos positivos sobre el suelo, porque disminuyen los procesos de erosión y mejoran la estructura de estos, además, de aumentar el reciclaje de nutrientes, ayudando a incrementar la materia orgánica y beneficiando a las gramíneas; de igual manera, la fijación de N asociado con bacterias del género *Rhizobium* a partir de las leguminosas, que aumentan la capacidad de captar el agua y nutrientes por parte de las leñosas, existiendo una acción importante de micro y macro fauna, brindando efectos positivos sobre la diversidad biológica; a partir de lo anteriormente mencionado, la investigación concluye que todo tipo de producción puede ser rentable sin atentar contra los recursos naturales, y que aparte de ayudar al medio ambiente, los productores tendrán grandes beneficios, al incrementar fertilidad en los suelos, y de aumentar sus recursos económicos, esto por mencionar algunas.

En la investigación ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?, realizada por Andrade, Ibrahim (2003); han atribuido a los sistemas ganaderos tradicionales, de un gran aporte de metano a la atmósfera, debido a los procesos digestivos de los bovinos y otros rumiantes, además del aporte de CO<sub>2</sub> proveniente de la degradación de las pasturas; una opción para la reducción del efecto invernadero producido por estos gases es la creación de sumideros, implementando sistemas agroforestales, que podrían disminuir cantidades importantes de carbono de la atmósfera, una manera de evaluar la cantidad de carbono en estos sistemas, es estimar la fijación de carbono, mediante la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{AC_p - AC_{lb}}{t}$$

FC: fijación de carbono por el proyecto (t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

AC<sub>p</sub>: almacenamiento de carbono por el proyecto (t C ha<sup>-1</sup>)

AC<sub>lb</sub>: almacenamiento de carbono en la línea de base (t C ha<sup>-1</sup>)

t: edad del proyecto (años);

Al evaluar la cantidad de cada componente de carbono (biomasa, hojarasca, suelos, raíces) se puede realizar la comparación entre sitios, sistemas y períodos, y dependerá de la relación costo-beneficio; esta relación considera los ingresos generados por los créditos de carbono

y los costos del monitoreo, siendo importante que los costos estén en relación con los beneficios por obtener; en general, existen tres niveles de esfuerzo con relación al balance costo-beneficio: (1) básico: de menor costo y exactitud con un (30% de error), donde las mediciones se hacen solo al inicio y al final del proyecto; (2) moderado: provee una exactitud mayor (20% de error) y es monitoreado cada dos o tres años y al final, y (3) alto: produce estimados más precisos (10-15% de error), y se mide anualmente.

Según Sidalc (2003) en el avance de investigación, “el comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica”; explican que los sistemas ganaderos convencionales se caracterizan por tener baja rentabilidad y efectos negativos con el ambiente, y por eso se ha buscado alternativas que sean beneficiosas para el productor y para el ambiente, por ende, se ha logrado implementar proyectos en Costa Rica, para desarrollar opciones técnicas silvopastoriles, con el fin de mejorar los parámetros productivos y reproductivos de la actividad ganadera, con esto se ha ido compensando financieramente a los finqueros mediante el pago durante un tiempo limitado, de algunos de los servicios ambientales de estos sistemas, (secuestro de carbono y mejoramiento de la biodiversidad); el modelo para evaluar la viabilidad financiera considera únicamente el componente pecuario (no incluye ingresos ni gastos de operación asociados al componente forestal) el pago por los servicios ambientales se hace de forma proporcional al incremento de los mismos, en relación a una línea base establecida al año cero o inicio del proyecto, y se consideran constantes los niveles de producción sin el proyecto, y debido a las mejoras nutricionales y reproductivas se deberá vender anualmente el número excedente de animales con el proyecto implementado; bajo todos los supuestos, la implementación de sistemas silvopastoriles es financieramente rentable, sin embargo, sin el estímulo financiero, los costes iniciales de implementación de los sistemas silvopastoriles son elevados, debiendo esperar hasta obtener las mejoras productivas y reproductivas que pueden llegar a representar hasta un 7% de la tasa interna de retorno, además se propone el inicio de investigaciones para obtener mayores beneficios ambientales y económicos mediante la producción de biomasa, madera y frutas.

En el trabajo “Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica de fincas ganaderas en Matiguás, Nicaragua”; realizado por Ruíz, Ibrahim, Locatelli, Andrade, y Beer, (2004), los sistemas silvopastoriles, pueden aumentar la fijación de C, y la rentabilidad para las fincas ganaderas, en este estudio se evaluó el

almacenamiento de carbono en cinco sistemas: terrenos con maleza, pastos mejorados con árboles, pastos nativos con árboles, pastos mejorados a pleno sol y pastos naturales a pleno sol, mediante el cálculo de la biomasa, el carbono almacenado por cada componente del sistema, y el factor de expansión de biomasa; encontrando una alta correlación entre la biomasa y el carbono total y el DAP ( $R^2 = 0,89$  y  $0,90$ ); por lo tanto, los contenidos de biomasa y el carbono en el componente leñoso y herbáceo fueron estadísticamente diferentes entre los terrenos con maleza y los otros sistemas, encontrando los mejores resultados en el sistema de pasto mejorado con árboles; en cuanto al contenido de carbono almacenado en el suelo, no se encontró diferencia estadística entre los sistemas.

De acuerdo a Ibrahim, Villanueva, Cassola, & Rojas (2006) en el estudio “Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos” señala que en América Central existe un interés por mejorar y diversificar los sistemas de explotación de los rumiantes, teniendo en cuenta la deforestación producida para generar los terrenos de pastoreo, que al irse degradando disminuye la productividad, principalmente de la cantidad de leche; inicialmente esta deforestación se produce para generar terrenos agrícolas; después, debido al mal manejo de cultivos, y degradación del suelo, estos terrenos se destinan a la ganadería; y es así como en Latinoamérica la deforestación aumenta a un ritmo alarmante y en Ecuador se proyecta una expansión de pasturas a expensas del bosque, concentrada en la frontera con Colombia; insertar árboles en las pasturas provee fuentes de alimento de alto valor nutritivo especialmente en épocas secas, como madera y sombra para los animales disminuyendo también la fragmentación de los bosques protegiendo las cuencas hidrográficas; esta inserción para incrementar la cobertura arbórea en los paisajes se puede dar por diversas vías: plantación de cercas vivas o árboles dispersos en potreros; abandono de las áreas para el establecimiento matorrales, o al permitir que ocurra la regeneración natural; generando así, fuentes de empleo, y dependiendo de la especie implantada fuentes de ingreso y forraje para alimentación del ganado; los estudios realizados muestran que al implantarse estos sistemas se observa que el ganado no pierde peso; la producción de leche se mantiene e incluso puede aumentar entre un 4 y un 37%; se observa también aumentos en la producción de carne entre un 27 y 157%; las vacas aumentan la frecuencia de celo y se reduce el intervalo entre partos; la mortalidad y la incidencia de enfermedades son muy bajas; y se evita trasladar el ganado a otras zonas en búsqueda de forraje; concluyendo, los sistemas silvopastoriles ofrecen una amplia gama de servicios ambientales, sin embargo, los

productores no consideran a la hora de tomar sus decisiones de producción, entre los cuales se incluyen la conservación de suelos, la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono y la belleza escénica, es por ello, que se debe incentivar en los agricultores, mediante regulaciones e incentivos, los usos de la tierra que protejan los recursos naturales y provean un servicio a la comunidad local, nacional y mundial, y a su vez puedan mejorar la viabilidad financiera de las fincas.

Alonso (2011) en el artículo “Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente”; explica, que las actividades antrópicas, las tecnologías intensivas, el sector agrícola y ganadero, además de las políticas gubernamentales, por buscar y alcanzar metas han causado alteraciones en los procesos naturales, y es así, como los recursos naturales se han visto afectados y experimentan un acelerado deterioro; sin embargo, se pueden desarrollar alternativas como la incorporación de árboles y arbustos en modalidad de sistema silvopastoril, las ventajas de estos sistemas, son la generación de servicios ambientales, ya que son amigables con el manejo de la diversidad biológica contribuyendo en los conceptos de desarrollo sostenible; América Latina, es un claro ejemplo de producción ganadera, al manejar prácticas agroforestales, estas prácticas han incrementado la producción y calidad de las pasturas y su producción total de biomasa a diferencia de los monocultivos, otros de los beneficios es la restauración de suelos degradados cumpliendo funciones ecológicas de protección del suelo, disminuyendo efectos directos del sol, agua y viento. Además de aumentar la fertilidad del suelo y el mejoramiento de los recursos hídricos, por mencionar algunas; es por eso que las fincas ganaderas con sistemas silvopastoriles de árboles dispersos en las pasturas, bancos forrajeros y cercas vivas, contribuyen a disminuir el efecto de la contaminación de las aguas; por lo tanto los sistemas silvopastotiles se presentan como una alternativa sostenible, promoviendo un mejor uso de suelo y utilizando de una manera eficiente los insumos externos, es así como los sistemas de pago de servicios ambientales pueden contribuir a una producción ganadera más productiva, sostenible, diversificada y competitiva.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Almacenamiento y fijación de carbono**

Uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agroforestales es el almacenamiento y la fijación de carbono, a través de la fotosíntesis realizada por las plantas, que capturan el CO<sub>2</sub> de la atmósfera produciendo carbohidratos, liberando oxígeno y fijando carbono en formas aprovechables como la lignina y la celulosa que forman una parte importante de la biomasa de las planta, y a la vez son los componentes esenciales de la estructura de los árboles (madera) (Cuéllar 1999 citado por, Riofrío, 2007). De esta manera, existen diferentes prácticas de uso de suelo, como es establecimiento de sistemas silvopastoriles, que cumplen con esta función como “sumideros de carbono”, que a su vez contribuyen al incremento de la cobertura vegetal permanente a la recuperación de la biodiversidad y otros servicios ambientales como la regulación de agua (Ramos 2003 citado por, Riofrío 2007).

De acuerdo, al proyecto de Evaluación Nacional Forestal del Ecuador 2009-2013, se registró un promedio de carbono por Estrato, que en el caso del Bosque Siempre Verde Montano, es de 123,1 Ton/ha; el contenido de carbono se realizo en base de la biomasa viva (DAP mayor a 10 cm, DAP menor a 10 cm y raíces vivas), y la biomasa muerta donde se considera (hojarasca, necromasa, biomasa muerta en pie y raíces muertas) (Ministerio del Ambiente, 2015).

### **2.2.2. El dióxido de carbono y el efecto invernadero**

En la atmósfera seca, no se considera el vapor de agua presente en ella, pero si el nitrógeno, en una relación de 78,1 % de mezcla volumétrica y 20,9 % de oxígeno, además se encuentra oligogases como el dióxido de carbono (0,035%) que es uno de los gases de efecto invernadero, argón (0,93%), y el ozono. Sin embargo, si solo hablamos de la atmósfera, ésta se encuentra compuesta por vapor de agua en cantidades muy variables (aproximadamente del 1%) y aerosoles (Benavides y León, 2007).

Los principales gases de efecto invernadero de la atmósfera terrestre, son de origen natural, como el metano (CH<sub>4</sub>) con una concentración de 1,75 ppmv (partes por millón en volumen), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con 365 ppmv, y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) con 0,31 ppmv, estos

valores se calcularon para un horizonte temporal de 100 años (Asturias, 2006). Sin embargo, el CO<sub>2</sub> es uno de los GEI de mayor impacto, los sectores que genera una mayor aportación de dióxido de carbono son el Transporte con 8 Gt (Giga Toneladas), Edificación 2,5 Gt, Industria 6,5 Gt, generación eléctrica 13 Gt y otros 2,4 Gt que incluyen agricultura y usos no energéticos (CEPSA, 2015). Además, en la atmósfera existen una cantidad de gases de invernadero (GEI) de origen antropogénico, como el cloro, bromo o flúor y carbono, llamados también halocarbonos, estos compuestos son la principal causa de los agotamientos de la capa de ozono en la atmosfera y el calentamiento global (Benavides y León, 2007).

Una de las principales causas que contribuyen al aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, son las provocadas por el hombre, por ejemplo, las actividades que convierten a los bosques a usos no forestales (cambio de uso de suelo), la tala, quema de árboles, y el uso de combustibles fósiles; es así, como se ve afectado la materia orgánica encontrada en el suelo además de la vegetación dentro de los ecosistemas ya que no realiza un intercambio de carbono con la atmósfera, es decir no cumple con los procesos vitales, como la fotosíntesis, la respiración y descomposición (Hall y Rao 1994 citado por Riofrío, 2007).

#### **2.2.2.1. Ciclo de carbono**

También llamado ciclo biogeoquímico; el carbono sufre diversas transformaciones a lo largo del tiempo; por lo tanto, este ciclo juega un papel significativo en la regulación del clima del planeta (Benavides y León, 2007). El carbono se encuentra almacenado en la geosfera en diferentes maneras: en la atmósfera como dióxido de carbono, disuelto en el agua, en la litosfera, en la roca y en depósitos de carbón, gas y petróleo; en la biosfera, donde se desarrollan los seres vivos; y en la antroposfera, donde se encuentra el hombre y todos los objetos creados por el mismo; el carbono circula en toda la geosfera por medio de la interacción en escalas de tiempo que van desde procesos que demoran algunas horas, días, meses y estaciones hasta aquellos que tardan largos períodos geológicos (Benavides y León, 2007)

#### **2.2.2.2. Ciclo biológico**

En este ciclo, existen intercambios de dióxido de carbono entre los seres vivos y la atmósfera; el carbono es incorporado por organismos que pueden sintetizar todas las sustancias esenciales para su metabolismo (autótrofos) a las cadenas alimenticias, a través de procesos

de síntesis, produciendo una gran cantidad de compuestos orgánicos; mediante un proceso, llamado fotosíntesis, el carbono de la atmósfera es absorbido por las plantas y organismos fotosintéticos acuáticos en forma de gas carbónico y en forma de ion bicarbonato; y, después por medio de la respiración es devuelto a la atmósfera en forma de dióxido de carbono; este ciclo es muy rápido, y se estima que el carbono atmosférico es renovado y producido cada 20 años (Benavides y León, 2007).

Y es así, como los bosques en crecimiento se convierten en sumideros de carbono porque tiene una absorción neta de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, en la biomasa y en el suelo, el hombre puede, mediante una ordenación forestal, modificar la magnitud de las reservas de carbono e inducir cambios en la circulación (flujo) de este elemento; con estos cambios se altera la función de tales reservas en el ciclo del carbono y posiblemente afectando el clima en forma positiva (Brown 1977 citado por, Riofrío, 2007).

### **2.2.3. Parámetros utilizados para estimar el carbono**

Para la estimación del carbono en los sistemas silvopastoriles se calcula la biomasa mediante ecuaciones alométricas que emplean las medidas de diámetro y altura de cada individuo. La biomasa herbácea se determina mediante análisis de laboratorio de las muestras de pastos tomadas en campo.

### **2.2.4. Biomasa**

También llamada bioenergía o biocombustible, es la parte biodegradable de los productos obtenidos a partir de la fotosíntesis y restos de la agricultura, la forestación y sus industrias asociadas o cualquier desperdicio que se produzca por parte de la sociedad; es así, que a la biomasa se la considera importante como una fuente de energía renovable ya que su contenido energético procede, principalmente, de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético; toda la materia orgánica producida es renovable siempre y cuando se produce a la misma velocidad de consumo, de esta manera evitamos que los recursos naturales sean sobreexplotados (Gamboa, 2009).

Para determinar la biomasa, existen diferentes métodos, los cuales son: a) Aplicación de una ecuación desde regresión específica a especies de árboles individuales a diámetro y/o otras medidas de los árboles, b) Aplicación de una ecuación de regresión genérica a diámetro y otras medidas de árboles, c) Estimación de tablas de biomasa específicas para especies o

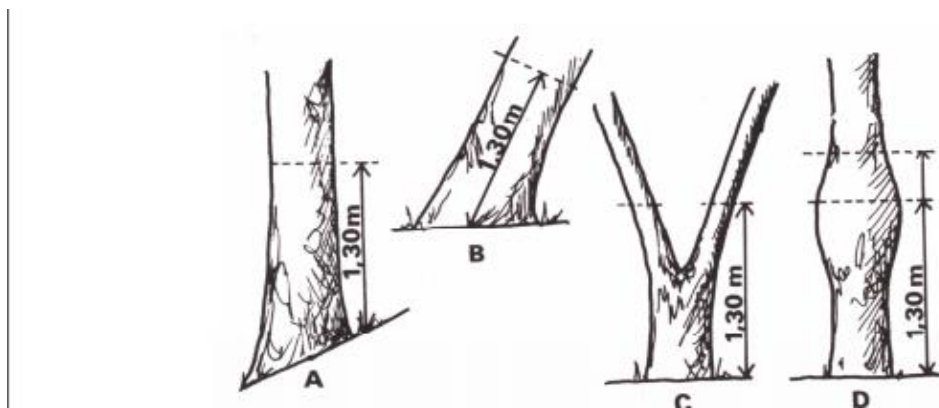


genéricas basadas en diámetro y/o altura, d) Uso de tablas de rendimiento estándar para estimar el volumen de fuste y aplicando la gravedad específica se convierte a biomasa de fuste, posteriormente se aplica un factor de expansión para estimar biomasa total del árbol, e) Uso de la técnica del árbol promedio (MacDicken 1997 y Snowdon et al 2001, citado por Riofrío, 2007).

#### 2.2.4.1. Biomasa aérea y herbácea

La biomasa arriba del suelo está compuesta por los árboles, la vegetación arbustiva y la vegetación herbácea; estos componentes de la biomasa se muestrean en parcela de proporciones acordes a cada tipo de vegetación; es muy importante hacer notar que el componente más importante de esta fuente son los árboles (Fundación solar, 2000 citado por Riofrío, 2007).

La biomasa de las especies forestales se determina a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP) se mide con cinta diamétrica a 1,30 m del suelo; y ya que los árboles no siempre son cilíndricos, rectos, con un solo fuste o ubicados en terrenos planos; mostrando a continuación el uso correcto del pie de rey (Riofrío, 2007).



**Figura 1.** Medición correcta con el pie de rey

**Fuente:** FAO (2000)

De igual manera, para estimar la biomasa herbácea, se debe cosechar todo el material a nivel del suelo, toda esta vegetación se debe encontrar dentro de una subparcela o cuadrante y se debe descartar lo que no se origine dentro de este, para realizar esta actividad se recomienda usar marcos rígidos de 0,5 m x 0,5 m para pastos y 1 m x 1 m para cultivos; el material recolectado debe ser pesado en campo y una muestra de peso fresco conocido debe ser

secado a 65 °C y 80 °C, con la muestra seca se puede realizar los respectivos para calcular para obtener materia orgánica y cenizas (Herrera, Del Valle, y Orrego, 2001).

### **2.2.5. Modelos alométricos**

Un modelo alométrico es una relación matemática entre una variable independiente y una dependiente, que tiene por objeto explicar las relaciones entre los atributos y las dimensiones del árbol o el peso seco de sus componentes (biomasa); la variable independiente puede ser estimada a partir de métodos destructivos (peso de componentes de individuos) o partir de datos dimensionales estimados en campo directamente del diámetro y la altura (Chacín 1998 y Nelson et al, 1999 citado por Riofrío, 2007). Por otro lado, dependiendo del número de variables independientes (datos dimensionales), la ecuación puede ser una regresión lineal simple con una única variable, ejemplo (la altura o el diámetro), o una regresión lineal múltiple con más de dos variables ejemplo (el diámetro y la altura) (Rügnitz et al. 2009 citado por Osinaga, y otros, 2014). Sin embargo, todos los modelos alométricos con transformaciones logarítmicas deben ser corregidos por un factor de corrección (FC) por lo que el resultado obtenido a usar cualquier modelo debe ser multiplicado por el FC de cada uno; la ecuación que sugiere este autor para calcular le FC es la siguiente:

$$FC = \exp^{(SSE/2)}$$

Donde FC es el factor de corrección y SSE es el error estándar estimado por la regresión (Chacín 1998 y Nelson et al, 1999 citado por Riofrío, 2007)

### **2.2.6. Sistemas agroforestales y la fijación de carbono**

Los recursos naturales, son explotados de diferentes maneras, los sistemas agroforestales, por ejemplo son formas de uso y manejo de los mismos, en los cuales especies leñosas como (árboles y arbustos), son utilizados en asociación con cultivos agrícolas y con animales, que están arreglados de acuerdo con el tipo de suelo y espacio en el terreno, además del tiempo que se demoran en realizar la rotación; de igual manera existe interrelación entre determinantes ecológicos y económicos, como también entre los árboles y los otros componentes de manera simultánea o temporal de manera secuencial; los ecosistemas frágiles y estables también son formas de producción agroforestal, a escala de diferentes maneras de producción, campo agrícola, finca, región, a nivel de subsistencia o comercial; el objetivo es diversificar la producción, controlar la agricultura migratoria, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar el nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes,

modificar el microclima y optimizar la producción del sistema, respetando el principio de sistema sostenido (López s.f).

Los sistemas agroforestales (SAF) pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. De hecho, las agroforesterías fomentan prácticas sostenibles minimizando la alteración de los suelos y la erosión de la biodiversidad, fomentando el incremento de vegetación perenne y el reciclaje de los nutrientes, así como también la contribución al almacenamiento de carbono a largo plazo (Kursten y Burshel citado por Riofrío, 2007). Además, los sistemas agroforestales no solo son una alternativa de producción sostenible, sino una oportunidad para diversificar las fincas e incrementar las fuentes de ingresos de la posible venta de servicios ambientales por reducción del CO<sub>2</sub> atmosférico (Ruíz 2002 citado por Riofrío, 2007).

#### **2.2.6.1. Sistemas silvopastoriles**

De acuerdo a Lanza, y otros (1999) este tipo de sistema, es una forma de combinar leñosas con pasturas y animales dentro de una parcela; de esta manera, los árboles brindan sombra a los pastizales y animales, mejoran la fertilidad del suelo y sus condiciones físicas, además de mejorar a mediano o largo plazo la economía de los productores. Los sistemas silvopastoriles pueden ser formados mediante la siembra en los límites de las pasturas ya establecidas o por establecerse, cercas vivas y franjas o parcelas forestales de alta densidad (Bastos da veiga & Feio da Veiga, s.f.).

#### **2.2.6.1. Descripción de las dos especies leñosas.**

##### **2.2.6.1.1. Aliso (*Alnus Acuminata*)**

La Distribución altitudinal de esta especie se encuentra entre los 1500 y los 3500 msnm, es un árbol de porte alto, y puede alcanzar hasta 40 m de altura, el diámetro a la altura del pecho alcanza los 60 cm, su tronco tiene numerosas lenticelas amarillentas, ovals y circulares, dispuestas horizontalmente a lo largo del fuste, la copa es estrecha, de hojas simples, alternas y puntiagudas y con los bordes aserrados, de color verde oscuro. Las flores son unisexuales, de color amarillo y aparecen en inflorescencias alargadas, con apariencia de “cola de gato”, las flores masculinas y femeninas están separadas en el mismo árbol, las masculinas son largas (5 a 12 cm) y péndulas, y las femeninas son cortas (2 cm) y erectas; la madera de árboles adultos es de color crema uniforme en condición verde, y rosada en condición seca,

es medianamente lustrosa, sin olor o sabor, de grano recto, textura fina y moderadamente liviana con un peso específico de 0,36 a 0,42 g/cm<sup>3</sup>, no es resistente a la pudrición ni a los insectos, pero es apreciada porque es fácil de trabajar (Salazar, Soihet, y Méndez, 2000).

#### **2.2.6.1.2. Acacia (*Acacia melanoxylon* R. Br)**

La distribución altitudinal de esta especie se encuentra a 1500 y los 2000 msnm, sin embargo, es una especie que se adapta fácilmente a lugares con temperaturas bajas, su altura oscila entre los 20 y 30 m y diámetros entre 60 y 70 cm como máximo. Le cubre una corteza color café grisáceo con grandes surcos longitudinales en su estado adulto, se caracteriza además por ser rica en taninos. El fuste es recto con buena disposición a la poda natural en condiciones de semi-sombra, en cambio a plena luz presenta abundantes ramas, tiene una copa redondeada, de follaje tupido coriáceo, persistente y estéticamente atractivo, otorgándole a la especie un valor ornamental; la especie presenta características de heterofilia, es decir sus hojas cambian de forma en función del estado de desarrollo del árbol; en el estado juvenil presenta hojas plumiformes, compuestas y bipinnadas que se disponen en forma alterna en las ramas, en el estado adulto por un engrosamiento del pecíolo se forman hojas oval-lanceoladas, falcadas, coriáceas de color verde oscuro (Slebert & Bauerle, 1995).

#### **2.2.6.2. Descripción de las especies herbáceas.**

##### **2.2.6.2.1. Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)**

Es una especie perenne de origen africano, encontrada a 1600 y 3000 msnm a una temperatura de 10 a 18 °C, de 30 a 40 cm de altura, estolonífera y rizomatosa, los estolones son ramificados y aplanados; tiene una inflorescencia reducida a un grupo de 2 a 4 espiguillas, casi encerrada en la vaina de la hoja, además de espiguillas de 10 a 20 mm de largo, posee un sistema radicular profundo y dos flores, comprendidas en filamentos delgados de 50 mm de largo, con anteras de 5 a 7 mm largo; en cuanto a calidad nutricional, brinda proteína cruda entre 11 y 22 % y disponibilidad del 65 a 80 % (Universidad Nacional de Colombia s,f).

##### **2.2.6.2.2. Trébol Blanco (*Trifolium repens* L.)**

Leguminosa forrajera perenne de gran valor nutritivo eficiente para la fijación de nitrógeno al suelo mediante fijación simbiótica; alcanza una altura de 10-15 cm, con tallos rastreros, estípulas bruscamente estrechamente en el ápice, hojas trifoliadas, folíolos ovoides,

denticulados, a menudo se lo identifican con una mancha blanca en el haz de la hoja (Filippi, 2012).

La temperatura optima de crecimiento del trébol blanco (*Trifolium repens L.*) es de 24 °C, además requiere de un pH de 6.5 para la fijación del Nitrógeno anteriormente mencionado (Universidad Técnica de Ambato, 2014).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO**

##### **3.1.1. Enfoque cuantitativo**

El presente estudio es de carácter cuantitativo, donde se estimaron contenidos de carbono almacenado en la biomasa aérea de tres sistemas o tratamientos; se realizó recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Ornelas, 2016).

##### **3.1.2. Tipo de Investigación**

###### **3.1.2.1. Investigación correlacional**

Su finalidad es determinar el grado de relación o asociación (no casual) existente entre dos o más variables, en este estudio se realizaron análisis de correlación en los sistemas silvopastoriles, considerando variables como altura del árbol, diámetro y los contenidos de carbono en la biomasa aérea (Mg/ha) de cada uno de estos, de esta manera se realizó una comparación entre cada uno de los sistemas.

#### **3.2. HIPÓTESIS O IDEA A DEFENDER**

Hi: Los sistemas silvopastoriles con Aliso (*Alnus Acuminata*) y Acacia (*Acacia melanoxylon R. Br.*) almacenan mayores cantidades de carbono en la biomasa aérea y herbácea con respecto a un sistema ganadero convencional.

Ho: Los sistemas silvopastoriles con Aliso (*Alnus acuminata*) y Acacia (*Acacia melanoxylon R. Br.*) no almacenan mayores cantidades de carbono en la biomasa aérea y herbácea con respecto a un sistema ganadero convencional.

### 3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Hipótesis	Variable	Definición conceptual de la variable	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Los sistemas silvopastoriles con Aliso ( <i>Alnus Acuminata</i> ) y Acacia ( <i>Acacia melanoxylon</i> ) almacenan mayores concentraciones de carbono en la biomasa área con respecto a un sistema ganadero convencional	<b>V.I.</b> Tres escenarios con diferente uso de suelo, uno conformado por pastizal convencional de Kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ) y trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> ), sin árboles; el segundo con árboles de aliso ( <i>Alnus acuminata H.B.K</i> ) pasto convencional de Kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ) y trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> ). El tercero con árboles de Acacia ( <i>Acacia melanoxylon R. Br.</i> ) pasto convencional de Kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ) y trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> ).	Los sistemas silvopastoriles son una opción de producción pecuaria, donde las plantas leñosas interactúan con componentes tradicionales (animales y plantas forrajeras herbáceas).	Sistema de aliso ( <i>Alnus Acuminata</i> ). Sistema de Acacia ( <i>Acacia melanoxylon</i> ) y sistema ganadero convencional.	Número de árboles a muestrear  Área a muestrear de la vegetación herbácea de los tres sistemas.	Observación  Observación	Registro de datos primarios  Registro de datos primarios

	<p><b>V.D.</b>          Contenidos de carbono almacenados en la biomasa aérea y herbácea (t/ha), en tres escenarios conformados por uno conformado por pastizal convencional de Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) y trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>), sin árboles; el segundo con árboles de aliso (<i>Alnus acuminata H.B.K</i>) pasto convencional de Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) y trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>). El tercero con árboles de Acacia (<i>Acacia melanoxylon R. Br.</i>) pasto convencional de Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) y trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>).</p>	<p>Captura de carbono, las plantas absorben CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través del proceso de fotosíntesis, el CO<sub>2</sub> se fija en el tejido de las plantas en forma de biomasa aérea y de biomasa herbácea.</p>	<p>Carbono acumulado en la biomasa aérea y herbácea de los sistemas silvopastoriles.</p> <p>Carbono acumulado en la biomasa herbácea del sistema ganadero convencional.</p>	<p>Biomasa aérea, en Acacia y Aliso, mediante la toma de altura y DAP (Diámetro a la altura del pecho).</p> <p>Biomasa de vegetación herbácea en los tres sistemas, Acacia, Aliso y pasto convencional, mediante análisis de laboratorio</p>	<p>Observación</p> <p>Observación</p>	<p>Registro de datos primarios</p> <p>Registro de datos primarios</p> <p>registro de datos primarios</p>
--	--	---	---	--	---------------------------------------	--

Elaborado por: Autora



### 3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.4.1. Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la Finca San Vicente, parroquia El Carmelo, cantón Tulcán, Provincia del Carchi; geográficamente, se encuentra situada entre los 0° 38' 53" latitud norte y 77° 35' 53" longitud occidental, a una altitud de 2.856 m.s.n.m (ECEDILATAM, 2015)



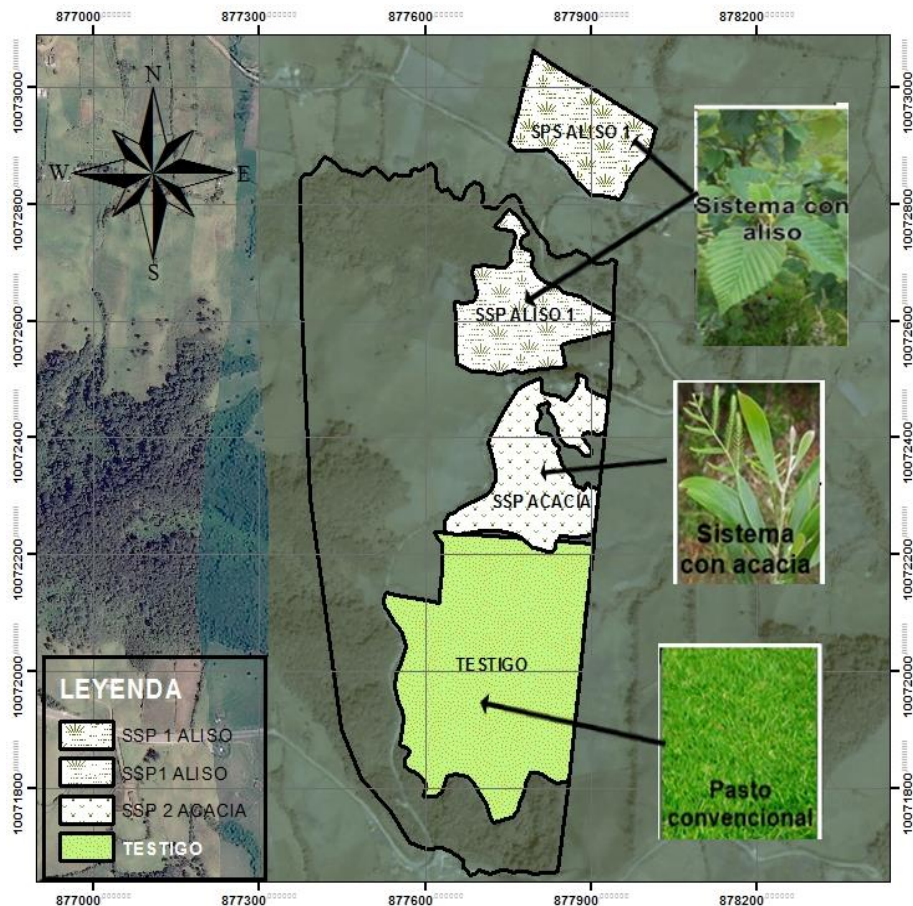
**Figura 2.** Ubicación parroquial

**Fuente:** (INEC, 2011. Citado por, ECEDILATAM, 2015)

#### 3.4.2. Caracterización de los sistemas silvopastoriles

A partir de noviembre del 2015, en la finca San Vicente, se establecieron dos sistemas silvopastoriles en tres áreas específicas, que consistieron en la plantación de acacia y aliso en hileras dobles a un distanciamiento de dos metros entre leñosas y en disposición de tresbolillo entre el par de hileras; cada diez metros se cuenta con un par de hileras que se han establecido siguiendo las curvas de nivel y en contra de mayor pendiente del terreno.

Por lo tanto, la distribución de los sistemas silvopastoriles y el sistema ganadero convencional (testigo), se representa en la (Figura 3).



**Figura 3.** Disposición de sistemas en la finca San Vicente

**Fuente:** (Benavides H. , 2016)

### 3.4.3. Fases de trabajo de investigación

#### 3.4.3.1. Análisis Bibliográfico

Para la recolección de la información documental necesaria que fundamente este trabajo, se utilizaron varias fuentes de información, entre las cuales se pueden citar libros, revistas, artículos y resultados de investigaciones similares que se hayan realizado a nivel nacional, como de otras regiones, estableciendo así de mejor manera los criterios de apoyo para llevar a término la investigación.

#### 3.4.3.2. Instalación de ensayo

Se realizó un reconocimiento del área, para definir el número de transectos a instalar, en base a las características de cada sistema, tomando en cuenta la pendiente, disposición de los árboles, distancia entre hileras, árboles y disturbios presentes.

#### **3.4.3.3. Fase de campo**

Se establecieron cuatro transectos en cada uno de los sistemas silvopastoriles Aliso y Acacia, en las plantaciones arbóreas se procedió a tomar datos de diámetro y altura de los árboles, para determinar la biomasa a partir de modelos alométricos; en el sistema ganadero convencional se tuvieron parcelas distribuidas estratégicamente donde se tomaron muestras de vegetación herbácea y se analizaron en los laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, para obtener los resultados de contenidos de carbono almacenado en la biomasa aérea.

#### **3.4.3.4. Fase de laboratorio**

Se realizaron análisis de contenidos de carbono almacenados en la biomasa de las unidades muestrales; para lo cual, se realizaron los respectivos análisis en los laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

#### **3.4.3.5. Fase de monitoreo**

El presente estudio se realizó durante 7 meses, mediante el levantamiento de información de línea base y dos monitoreos; cada uno con un intervalo de tiempo de 3,5 meses. En esta fase se ejecutó la metodología para cada uno de los tratamientos, con su respectiva recolección de datos y análisis de los mismos.

### **3.4.4. Población y muestra**

#### **3.4.4.1. Población:**

La población de la presente investigación está representada por la totalidad de cada sistema, en el sistema de Acacia 4,64 ha, sistema de Aliso 3,93 ha, y el sistema de pastizal convencional 5,60 ha. Con una totalidad de 14,17 ha. En la Hacienda “San Vicente” dedicada a la producción ganadera.

#### **3.4.4.2. Muestra:**

La muestra de la investigación está dada por el 13,55% de la población, de esta manera, se muestreo en el sistema de Acacia 0,64 ha, en el sistema de Aliso 0,64 ha, y en el sistema ganadero convencional la misma área de los anteriores sistemas, como se muestra en la (Tabla 1).

**Tabla 1.** Representatividad del área

TRATAMIENTO	Área total del hábitat o tratamiento (ha)	Área muestreada (ha)	% de muestreo respecto al área de cada sistema	% de muestreo respecto al área total
Aliso	3,93	0,64	16,28	4,52
Acacia	4,64	0,64	13,79	4,52
Testigo- Pasto convencional	5,60	0,64	11,43	4,52
<b>TOTAL</b>	<b>14,17</b>	<b>1,92</b>		<b>13,55</b>

*Nota:* Sumatoria de las áreas de los tres tratamientos (14,17ha), la muestra se tomará en una representatividad del 13,55%.

**Elaborado por:** Autora

### 3.4.5. Metodología para la estimación de la biomasa

#### 3.4.5.1. Establecimiento de la línea base de la biomasa aérea

La línea base describe todo lo que existe en el área de desarrollo del proyecto antes de implementar el mismo, y en la cual se detalla la información inicial contra la cual se deberá contrastar y evaluar la eficiencia de las actividades que se desplieguen durante el proyecto y después de que este se haya completado.

Para la vegetación aérea se establecieron transectos y áreas de muestreo, se procedieron a medir los tramos, dividiendo los transectos en cuatro subsecciones que tuvieron 40 individuos cada una, se identificaron con números sujetos a la base de cada árbol, y entre los dos sistemas se numeran en total 1280 individuos; después de identificar los individuos seleccionados para el estudio, se inició con la toma de sus respectivas medidas, usando el formato del Anexo 1.

Para el sistema de acacia, debido a la altura promedio de todos los individuos se estableció como punto medio de diámetro una altura de 10 cm y en el sistema de aliso a 130 cm desde la base del tallo, en el caso de que los arboles no cumplieran con la altura establecida de 130 cm se midieron a una altura similar al sistema acacia, este punto medio de diámetro se señaló

con pintura y en él se midió el diámetro dos veces con una separación de 90 grados cada una, con un calibrador o pie de rey para obtener un diámetro promedio de las dos mediciones; otro causal para tomar la medida a una altura mayor o inferior de la establecida es la presencia de ramificaciones, o deformaciones que alteren el resultado de la medición, cuando existieron la presencia de ramificaciones bajo la altura de medición, se registraron todas estas con la misma identificación de individuo y señalando un número igual de divisiones, separadas por un punto del número original; a la par de la medición del diámetro, también se registró la altura de cada individuo desde la base hasta la yema apical, todos estos datos se registraron para su posterior tabulación y procesamiento.

La biomasa del componente arbóreo se estimó usando ecuaciones alométricas (tabla 2) encontradas en la literatura, sin embargo, se realiza la selección de las ecuaciones más convenientes para el estudio (tabla 3).

**Tabla 2.** Ecuaciones alométricas evaluadas para la estimación de biomasa en Acacia y Aliso.

<b>Ecuación</b>	<b>Especie</b>	<b>Fuente</b>
$BA=DM*\exp(-1,499+2,148\ln(DAP)+0,207(\ln(DAP))^2-0,0281(\ln(DAP))^3)$	<i>Alnus acuminata</i>	Chave (2005)
$\ln(BA)=a+b1\ln(DAP)+\ln(DM)$	<i>Alnus acuminata</i>	Rügnitz et al. (2009)
$\ln(BA)=1,4278+2,3836*\ln(DAP)+0,7655*\ln(DM)$	<i>Alnus acuminata</i>	Nelson et al. (1999)
$BA=\exp(1,96+(-1,098*(\log(DAP))) + (1,169*((\log(DAP))^2)) + (-0.122*((\log(DAP))^3)) + (1,061*(\log(DM))))$	<i>Alnus acuminata</i>	Álvarez (2012)
$BA=1,9968+2,4128*\ln(DAP)$	<i>Alnus acuminata</i>	Nelson et al. (1999)
$BA=EXP(-2,5202+(2,14*(LN(DAP))) +0,4644*LN(H))$	<i>Acacia megaloxylon</i>	Nelson et al. (1999)
$BA=0,0673 \times (DM \times (DAP^2) \times altura)^{0,976}$	<i>Acacia megaloxylon</i>	Chave et al. (2005)

$BA = \exp(-2,4090 + 0,9522 * \ln(DM * (DAP^2) * H))$	<i>Acacia</i>	Brown s.f <i>megaloxylon</i>
$BA = DM * \exp(-1.499 + 2.148 \ln(DAP) + 0.207 (\ln(DAP))^2 - 0.0281 (\ln(DAP))^3)$	<i>Acacia</i>	Chave et al. <i>megaloxylon</i> (2005)

*Nota:* BA: Biomasa aérea (kg por individuo<sup>-1</sup>); DM: Densidad de madera (relación entre masa y volumen) para *Acacia* (0,54 kg/m<sup>3</sup>) y *Aliso* (0,38 kg/m<sup>3</sup>); DAP: Diámetro a la altura del pecho; ln (logaritmo natural), H: Altura; a y b: Coeficientes de la ecuación.

**Fuente:** (Osinaga, y otros, 2014)

**Elaborado por:** Autora

Las ecuaciones alométricas seleccionadas (tabla 3) cumplieron con los siguientes parámetros estadísticos: coeficiente de determinación R<sup>2</sup> (se admite un valor mínimo de 0,7), prueba F (el mínimo valor posible), y el menor valor posible de error estándar de la regresión,

**Tabla 3.** Ecuaciones alométricas seleccionadas para estimar la biomasa arbórea

$\ln(BA) = 1.4278 + 2.3836 * \ln(DAP) + 0.7655 * \ln(DM)$	<i>Alnus</i> <i>acuminata</i>	Nelson et al. (1999)
$BA = \exp(-2.5202 + (2.14 * (\ln(D))) + 0.4644 * \ln(H))$	<i>Acacia</i> <i>megaloxylon</i>	Nelson et al. (1999)

*Nota:* BA: Biomasa aérea (kg por individuo<sup>-1</sup>); DM: Densidad de madera; DAP: Diámetro a la altura del pecho; H: Altura; ln: Logaritmo natural

**Fuente:** (Osinaga, y otros, 2014)

**Elaborado por:** Autora

La biomasa calculada por medio de las ecuaciones seleccionadas fue multiplicada por 0,5 para estimar el contenido de carbono (IPPC, 2003 citado por Muhammad, y otros, 2006) ya que se estima que la relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1.

### 3.4.5.2. Monitoreos de la biomasa aérea.

Con los parámetros que se establecieron para la toma de medidas de la línea base se realizaron dos monitoreos separados por tres meses y medio cada uno, en los cuales se vuelve a medir la altura y el diámetro de los individuos, en el punto que se marca al inicio del

estudio, estos datos obtenidos se procesan con las ecuaciones alométricas escogidas para calcular el respectivo aumento de biomasa.

#### **3.4.5.2. Establecimiento de la línea base de la biomasa herbácea.**

Para establecer la línea base de la biomasa en los pastos se determinó un punto de toma de muestra en cada subsección de los transectos dentro del primer metro externo, sobre y bajo la curva de nivel de manera alternada, se tomaron las coordenadas de cada punto y se dejaron marcando con estacas para realizar la toma de muestras correspondientes a la segunda y tercera parte del estudio.

El área de muestreo se estableció con un marco de madera de 50 cm<sup>2</sup> de arista, este se colocó sobre el pasto y se cortó a ras toda la vegetación herbácea que queda dentro del mismo, las muestras obtenidas se empacaron y se identificaron para su transporte inmediato al laboratorio; a la llegada de las muestras a los laboratorios de la UPEC, se realizó el pesaje del total de la muestra en gramos y se registró los valores, luego se realizó el secado de la muestra a 60° C durante el tiempo necesario para que el peso llegue a ser constante, con este procedimiento se cuantificó la humedad a 60 °C y la cantidad de materia seca.

A partir de la muestra ya seca, se determinó el porcentaje de cenizas mediante calcinación, pesando un gramo de muestra y sometiénola a una temperatura de 450 °C ± 5 °C hasta que las muestras se transformen en cenizas de coloración blanquecina o gris y mantengan un peso constante. Los pesos obtenidos antes y después de la calcinación se registran en el formato (ver anexo 2), posteriormente se calculó el porcentaje de cenizas y materia orgánica (ver anexo 4) mediante las siguientes fórmulas:

- a) Fórmula para obtener el porcentaje de cenizas

$$\% CZ = \frac{P_{Cz+c} - P_c}{P_M} \times 100$$

En dónde:

C<sub>z</sub> = Ceniza

P<sub>Cz+c+c</sub> = Peso en gramos de la muestra calcinada más el crisol.

$P_C$  = Peso en gramos del crisol.

$P_M$  = Peso en gramos de la muestra (AGROCALIDAD, 2014).

b) Fórmula para obtener el porcentaje de materia orgánica

$$\% MO = 100 - \% Cz$$

En dónde:

$\% Cz$  = Porcentaje de ceniza obtenido (AGROCALIDAD, 2014).

Los valores obtenidos se registraron para su posterior análisis. Se empleo el mismo factor (0,5) para transformar valores de biomasa (materia orgánica) a carbono (IPPC, 2003 citado por Muhammad, y otros, 2006).

#### **3.4.5.3. Monitoreos de la biomasa herbácea.**

Los monitoreos de la biomasa herbácea se realizan de forma paralela a los monitoreos de la vegetación aérea, las muestras se toman en los puntos señalados por estacas, y se procesan de manera similar a lo realizado en la medida de la línea base. Los datos de laboratorio se procesaron para obtener las variaciones de biomasa y carbono en cada sistema.

#### **3.4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para conocer el comportamiento estadístico de los datos obtenidos en el estudio se realizó la prueba de normalidad, el resultado muestra que todos los datos presentan una distribución normal, por lo tanto, se procede a escoger el Análisis de Varianza (ADEVA) como prueba paramétrica para el análisis estadístico de la cantidad de materia orgánica acumulada en pastos y la prueba (t student) para el análisis de la biomasa aérea acumulada en los sistemas propuestos en el estudio.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. Prueba de normalidad de la biomasa del sistema de Acacia y Aliso.

La tabla 4 muestra una distribución normal en los datos ya que el p-valor para Acacia y Aliso son mayores al 0,05, aceptando la hipótesis nula en los dos sistemas para la prueba de normalidad Shapiro-Wilk.

**P-valor**  $\Rightarrow \alpha$  aceptar H0: Los datos de biomasa provienen de una distribución normal.

**p-valor**  $< \alpha$  aceptar H1: Los datos de biomasa NO provienen de una distribución normal.

**Tabla 4.** Prueba de normalidad de la biomasa del Sistema de Acacia y Aliso

Eventos	Sistemas	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	p-valor
Línea base	Acacia	0,905	4	0,458
	Aliso	0,874	4	0,312
Monitoreo 1	Acacia	0,992	4	0,966
	Aliso	0,931	4	0,600
Monitoreo 2	Acacia	0,997	4	0,989
	Aliso	0,905	4	0,458

**Elaborado por:** Autora

#### 4.1.2. Prueba de normalidad de la materia orgánica del Sistema de Acacia, Aliso y Sistema convencional (pasto).

La tabla 5 muestra una distribución normal en los datos, ya que el p-valor para Acacia, Aliso y pasto son mayores al 0,05, aceptando la hipótesis nula en los tres sistemas para la prueba de normalidad Shapiro-Wilk.

**P-valor**  $\Rightarrow \alpha$  aceptar H0: Los datos de materia orgánica provienen de una distribución normal.

**p-valor**  $< \alpha$  aceptar H1: Los datos de materia orgánica NO provienen de una distribución normal.

**Tabla 5.** Prueba de normalidad de materia orgánica del Sistema de Acacia, Aliso y sistema convencional (pasto).

Eventos	Sistemas	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p-valor
Línea base	Acacia	0,877	4	0,325
	Aliso	0,984	4	0,923
	Pasto	0,989	4	0,953
Monitoreo 1	Acacia	0,755	4	0,043
	Aliso	0,875	4	0,319
	Pasto	0,950	4	0,715
Monitoreo 2	Acacia	0,927	4	0,576
	Aliso	0,814	4	0,130
	Pasto	0,854	4	0,239

**Elaborado por:** Autora

#### 4.1.3. Prueba t student para las medias de la biomasa área entre los sistemas de Acacia y Aliso

De acuerdo a la tabla 6, el p-valor calculado muestra que la biomasa aérea de los dos sistemas difiere significativamente; para un intervalo de confianza del 95% la diferencia negativa entre las dos medias, indica que la cantidad de biomasa acumulada en el sistema de aliso es mayor que la media de biomasa acumulada en la acacia, en los tres eventos realizados.

También se puede observar, que existe un incremento de biomasa aérea desde el momento en que se realiza la línea base hasta el primer y segundo monitoreo en ambos sistemas silvopastoriles.

**Tabla 6.** Prueba t student para las medias de la biomasa área entre los sistemas de Acacia y Aliso en eventos.

Biomasa aérea/eventos	Media de Acacia	Media de Aliso	Diferencias de las medias	p-valor	95 % de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Línea base	0,5650	1,5125	-0,9475	0,001	-1,32166	-0,57334
Monitoreo 1	0,9800	2,7450	-1,7650	0,000	-2,36996	-1,16004
Monitoreo 2	1,3400	4,0175	-2,6775	0,000	-3,51812	-1,83688

**Elaborado por:** Autora

#### 4.1.4. Análisis de varianza para la materia orgánica de la vegetación herbácea entre sistemas en cada evento.

De acuerdo a la tabla 7, el p-valor calculado muestra que la biomasa herbácea de los tres sistemas no difiere estadísticamente, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula del estudio, y no se realiza la prueba de Tukey, puesto que tampoco se encontrará diferencias significativas en la biomasa herbácea entre los tres sistemas.

**Tabla 7.** ADEVA de un factor para la materia orgánica de la vegetación herbácea entre Sistema de Acacia, Aliso y Pasto convencional.

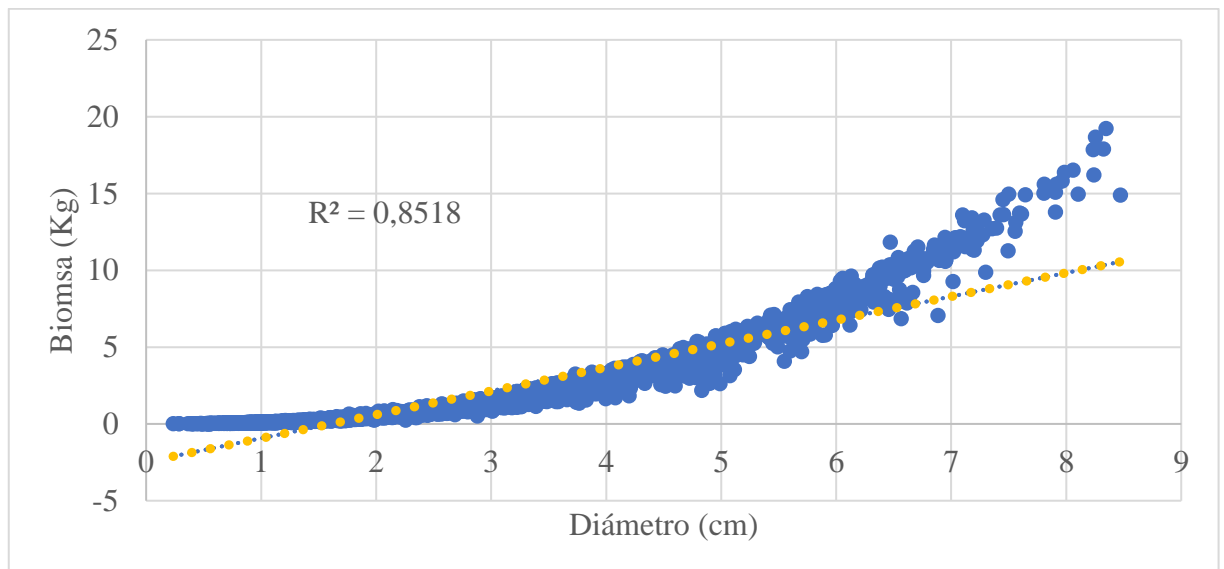
Eventos		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p-valor
Línea base	Entre sistemas	342,299	2	171,149	2,945	0,104
	Dentro de sistemas	523,082	9	58,120		
	Total	885,381	11			
Monitoreo 1	Entre sistemas	238,641	2	119,320	0,779	0,48
	Dentro de sistemas	1378,204	9	153,134		
	Total	1616,844	11			
Monitoreo 2	Entre sistemas	216,978	2	108,489	1,450	0,285
	Dentro de sistemas	673,606	9	74,845		
	Total	890,584	11			

**Elaborado por:** Autora

#### 4.1.5. Coeficiente de determinación de Acacia y Aliso

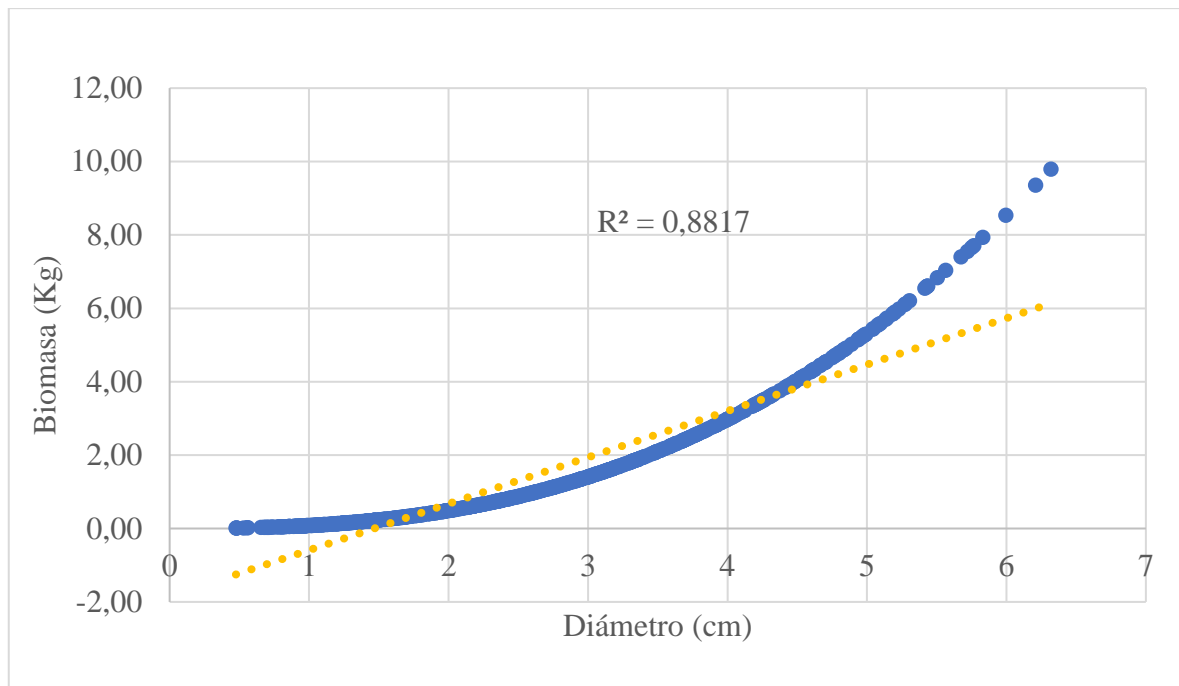
El uso de ecuaciones alométricas representan una herramienta de fácil uso para las estimaciones de los contenidos de carbono almacenados en la biomasa aérea. En efecto, algunas fórmulas son para especies específicas, es decir que han sido desarrolladas para una especie en particular como la de Fonseca *et al* (2013) citado por Osinaga, y otros (2014) desarrollada para Aliso, la misma que presentó el mejor ajuste para esta especie, sin embargo, por un tema de comparabilidad y el hecho de que se manejó menos variables, se utilizaron sólo las ecuaciones de Nelson *et al* (1999) para las dos especies que forman parte del presente ensayo.

Las ecuaciones de Nelson *et al* (1999) citado por Osinaga, y otros (2014) citadas en la tabla 3, fueron los modelos que presentaron el mejor ajuste con un ( $R^2= 0,85$ ) (Figura 4) y ( $R^2 0,88$ ) (figura 5) al utilizar a la altura y el diámetro como variables. Ya que las ecuaciones que utilizan a la densidad de madera (DM) como variable adicional fueron descartadas puesto que, al tratarse de individuos juveniles, la densidad de madera tiende a cambiar hasta llegar a su madurez o adultez. Las ecuaciones que utilizan una sola variable (DAP), también fueron descartadas ya que utilizar ecuaciones con un mayor número de variables brinda mayor precisión en la estimación de los valores de biomasa aérea por individuo.



**Figura 4.** Ajuste de los datos de biomasa en el sistema de Acacia a la ecuación alométrica de Nelson en la primera medición (línea base).

**leyenda:** la recta de regresión representada corresponde a la ecuación alométrica (Nelson et al 1999), el diámetro medido en 640 árboles está diagramado en el eje x, y la cantidad de biomasa (Kg) que se obtiene a partir del diámetro (cm) se encuentra en el eje y.



**Figura 5.** Ajustes de los datos de biomasa en el sistema de Aliso a la ecuación alométrica de Nelson en la primera medición (línea base).

**Leyenda:** la recta de regresión representada corresponde a la ecuación alométrica (Nelson et al 1999), el diámetro medido en 640 árboles está diagramado en el eje x, y la cantidad de biomasa (Kg) que se obtiene a partir del diámetro (cm) se encuentra en el eje y.

#### 4.1.6. Biomasa Aérea y Carbono acumulado en los sistemas de Acacia y Aliso

Utilizando los diámetros y alturas medidos en los sistemas silvopastoriles, se calcula la cantidad de biomasa y carbono acumulado en la vegetación arbórea durante los siete meses del ensayo.

La diferencia de crecimiento entre las especies influye directamente en la cantidad de carbono presente en ellas, ya que un individuo más grande tendrá más carbono acumulado. La tabla 8, muestra con valores que el sistema aliso supera al sistema acacia en la captura de biomasa y carbono almacenado durante los siete meses; además, se señalan los valores obtenidos en el tiempo de desarrollo del estudio a la vez que se los procesan mediante regresión lineal para proyectar los valores de biomasa acumulada esperadas en un año por hectárea y por sistemas.

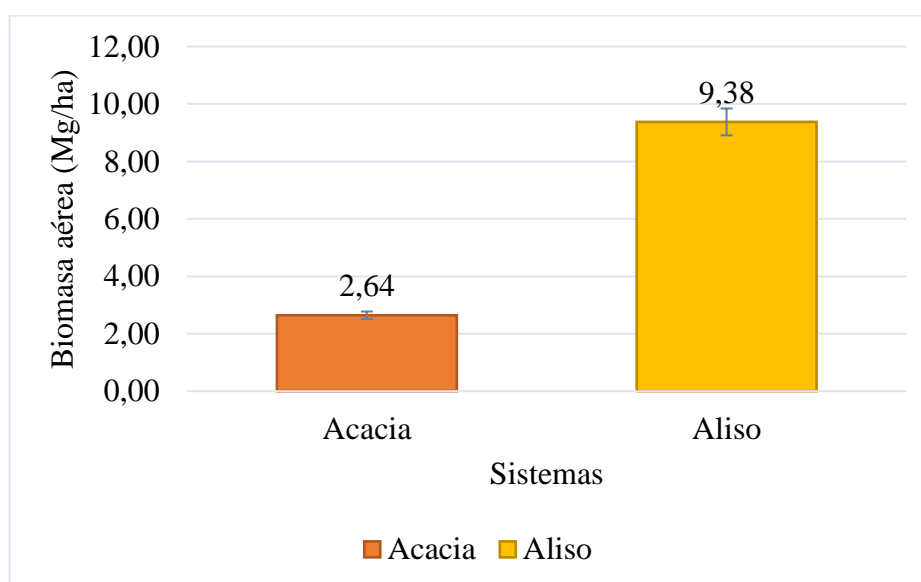
**Tabla 8.** Mega gramos de biomasa aérea (BA) y carbono (C) acumulado en los sistemas de Aliso y Acacia en siete meses, la proyección de acumulación en un año y los contenidos totales para extensión total de cada sistema.

Sistemas	Biomasa aérea			Carbono acumulado		
	Mg/ha/ 7 meses	Mg/ha/ año	Mg/ha/ 7 meses	Mg/ha/ año	Mg/sistema/ 7 meses	Mg/Sistema/ año
Acacia	2,64	4,56	1,32	2,28	6,12	10,6
Aliso	9,38	16,04	4,69	8,02	18,43	31,5

**Nota:** Mg: Mega-gramos, ha: hectárea.

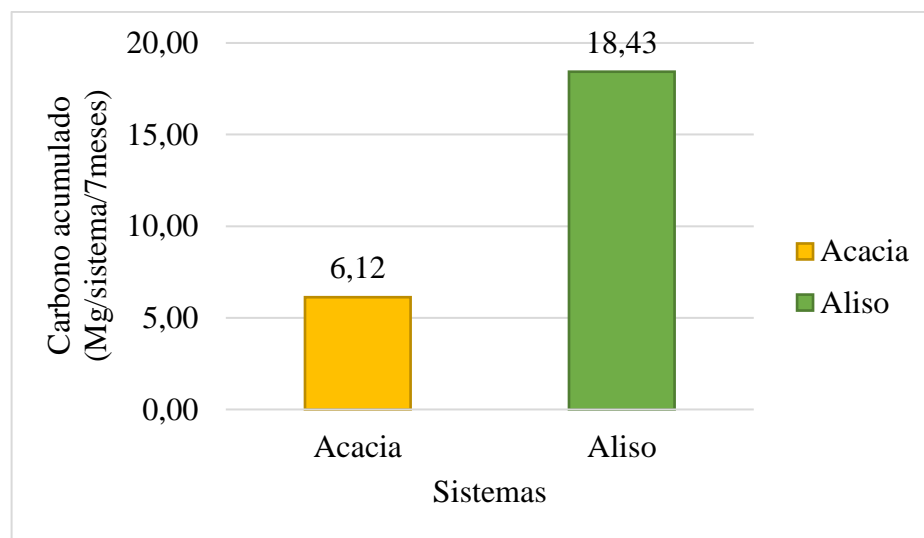
**Elaborado por:** Autora

Los individuos de Acacia presentaron dimensiones menores que los de Aliso, pese a que fueron sembrados en la misma época (tres años atrás), sufrieron de herbivoría por parte de las vacas presentes en el sistema, los individuos de Aliso por su parte no fueron una opción muy apetecible (palatables) para las vacas por lo que se desarrollaron con mayor facilidad. De esta manera, la figura 6 ilustra la influencia del factor mencionado, en la diferencia proporcional que existe en la cantidad de biomasa almacenada por cada sistema durante los siete meses de estudio.



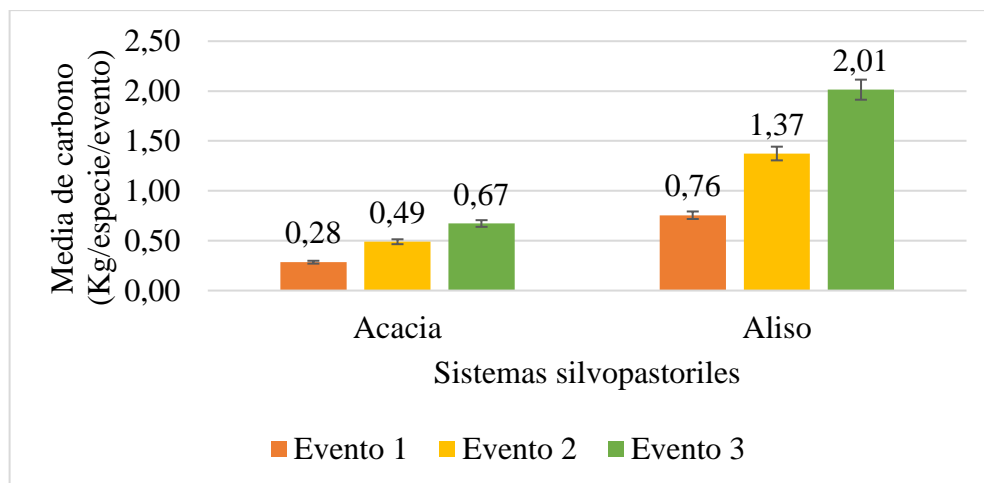
**Figura 6.** Biomasa aérea acumulada (Mg/ha), reportada para dos sistemas silvopastoriles de Acacia y Aliso durante los siete meses de estudio.

La relación de carbono acumulado entre los sistemas durante el estudio, se ilustra en la figura 7, al igual que en la biomasa la relación continúa siendo tres veces más para el Aliso; esto se debe a que es una especie que coloniza los bosques en etapas de sucesión temprana y tiende a tener rápido crecimiento (pionera) y almacenar más carbono en su estructura; en este sentido, el Aliso es una especie con gran potencial para ser utilizada en sistemas de manejo similares y son catalogados como especies que se desarrollan bien en sitios perturbados y favorecen el establecimiento de otras especies dada su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico (Humbolt, Aimé, & Karl, 1817).



**Figura 7.** Carbono acumulado en Mg, presente en los dos sistemas silvopastoriles durante los siete meses de estudio.

Se observa en la figura 8, una mayor eficacia en la captura de carbono en el sistema Aliso, ya que al trazar la línea base y realizar los monitoreos (eventos) correspondientes se evidencia un contenido de carbono mucho mayor en este sistema, se observaron también diferencias estadísticamente significativas ( $p < .0005$ ) entre los sistemas en la cantidad de biomasa acumulada entre eventos y entre especies.



**Figura 8.** Media de carbono aéreo en kg presente en cada individuo de los sistemas de Acacia y Aliso, durante los tres eventos

#### 4.1.7. Materia orgánica y Carbono acumulado en los sistemas de Acacia, Aliso y el pastizal convencional.

Utilizando los análisis realizados a las pasturas de los tres sistemas, se calcula la cantidad de biomasa y carbono acumulado en la vegetación herbácea durante los siete meses del ensayo, con estos resultados se realizó una proyección de la acumulación anual de carbono mediante regresión lineal.

La tabla 9, muestra resultados muy diferentes a los obtenidos en la biomasa aérea, ya que se encontró una mayor acumulación de materia orgánica en la vegetación herbácea del sistema convencional (pasto sin árboles).

**Tabla 9.** Mega gramos de Materia orgánica en la vegetación herbácea (MO) y Carbono (C) acumulado en los sistemas de Acacia, Aliso y el sistema convencional (Pasto), la proyección de acumulación en un año y los contenidos totales para extensión total de cada sistema.

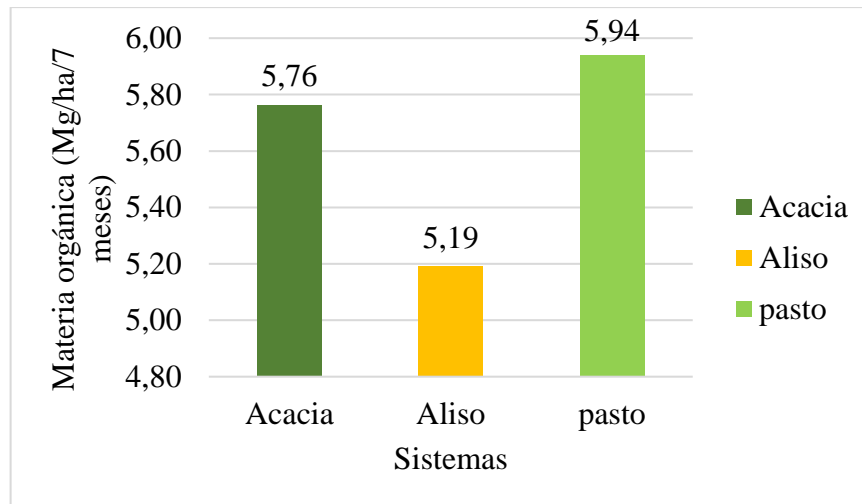
Sistemas	Materia orgánica		Carbono acumulado			
	Mg/ha/ 7 meses	Mg/ha/ año	Mg/ha/ 7 meses	Mg/ha/ año	Mg/sistema/ 7 meses	Mg/Sistema/ año
Acacia	5,76	8,14	2,88	4,07	13,37	18,88
Aliso	5,19	7,63	2,60	3,82	10,20	14,99
Pasto	5,94	8,59	2,97	4,30	16,63	24,05

**Nota:** Mg: Mega-gramos, ha: hectárea.

**Elaborado por:** Autora

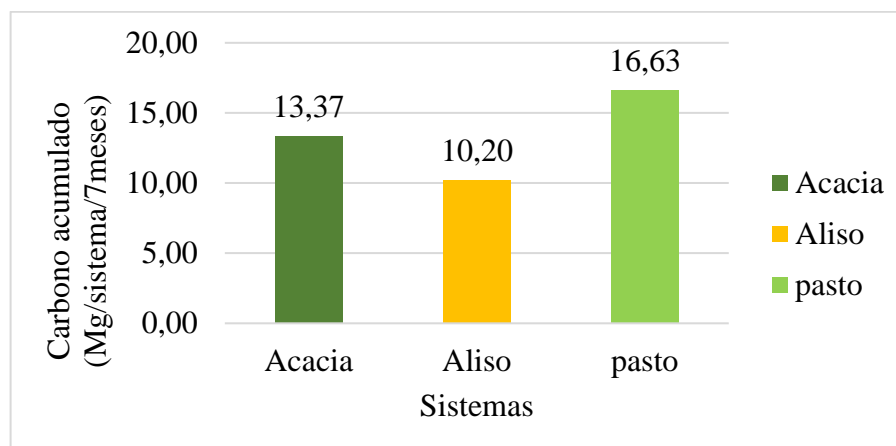


La relación que se dio en la acumulación de materia orgánica de los tres sistemas silvopastoriles se puede observar en la figura 9, la diferencia proporcional no es tan alta como en la biomasa aérea, sin embargo, la variación en la acumulación de materia orgánica en los siete meses es de 0,18 Mg entre sistema convencional (pasto) y el sistema de Acacia, y de 0,75 Mg entre el sistema convencional y el sistema de Aliso.



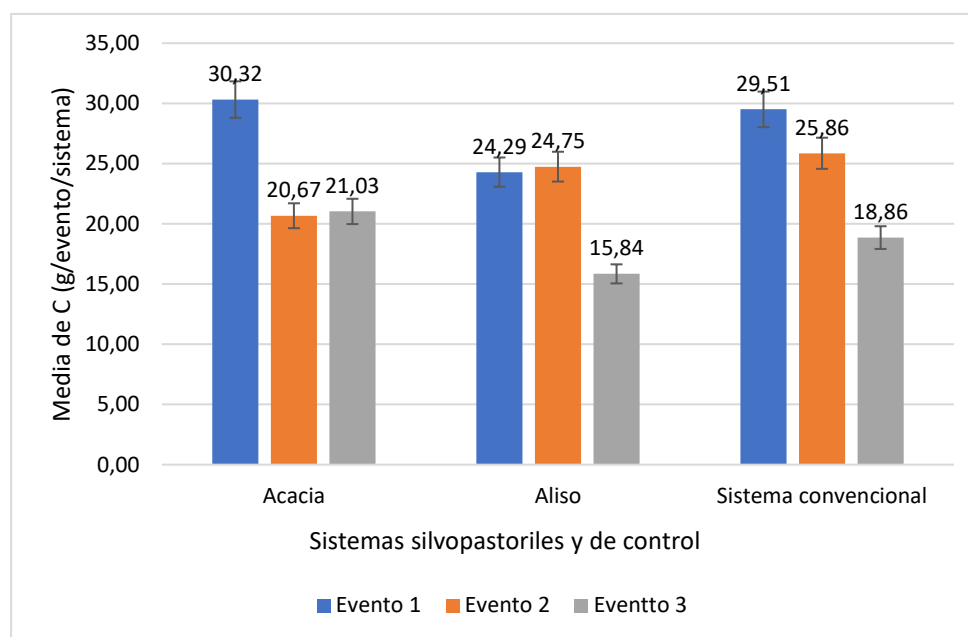
**Figura 9.** Materia orgánica (Mg/ha) presente en los sistemas silvopastoriles y convencional, durante los siete meses de estudio.

El carbono acumulado por cada sistema durante los siete meses se grafica en la Figura 10 en este gráfico se puede ver que los valores tienen una mayor diferencia, en proporción ya que la cantidad total se ve influenciada por el área de cada sistema.



**Figura 10.** Carbono acumulado (Mg) en los sistemas silvopastoriles y convencional, durante los siete meses de estudio.

Se observa en la figura 11 una cantidad de carbono similar en el primer monitoreo, para los sistemas de Acacia y el sistema convencional, en el segundo monitoreo la tendencia en estos dos sistemas es decreciente mientras que en el Aliso se mantiene constante. En el tercer monitoreo el único sistema que tiende a aumentar el carbono contenido en la vegetación herbácea es el sistema Acacia, lo que indicaría que durante el tiempo este sistema es más eficiente en el almacenamiento de carbono.



**Figura 11.** Promedio de carbono en gramos presente en la vegetación herbácea de los dos sistemas silvopastoriles y el sistema convencional durante los tres monitoreos realizados.

## 4.2. DISCUSIÓN

Los modelos alométricos seleccionados presentan muy buenos ajustes, con coeficientes de correlación de 0,83 0,84 y 0,86 en el sistema de Acacia, y en el sistema de Aliso entre 0,90 y 0,91, tomando como variable independiente el diámetro normal a 10 cm o 1,30 m sobre el nivel del suelo. Esta medida presenta ventajas, ya que se toma de manera sencilla y su tiempo de muestreo es relativamente corto y no requiere de equipos muy especializados. Los resultados obtenidos en esta investigación, tienen una importancia singular en los momentos actuales, cuando la mitigación del cambio climático cobra cada vez mayor relevancia, y permite pensar en la posibilidad de que, si las extensos terrenos que se destinan actualmente al pastoreo son implementados con sistemas silvopastoriles, podrían constituir importantes

sumideros de carbono, e ir adaptando las tecnologías más adecuadas, ya sean bancos forrajeros, cercas vivas, potreros arbolados, viables para un adecuado manejo y reconversión de pasturas degradadas, e incluso formar puentes entre bosques para mantener el hábitat y facilitar la conservación de especies animales y vegetales. La contribución de los sistemas silvopastoriles no solo llega hasta la disminución del cambio climático, sino que también mejora las condiciones del suelo, ya que previene la erosión y provee de sombra a los pastizales y a los animales que se alimentan en el sistema. Se puede observar de acuerdo a los resultados del estudio que se realiza en los pastos de los sistemas silvopastoriles y el pastizal testigo, que existe un nivel más alto en el contenido de cenizas, en los sistemas, con relación al pastizal testigo, lo que influye positivamente en la producción del ganado (Muhammad, Mora, y Rosales, 2001).

Los resultados obtenidos en la medición de biomasa aérea, muestra mayor eficiencia para el Sistema Aliso 9,38 Mg/ha/año en proporción de hasta tres veces más carbono almacenado, estos resultados se relacionan con los obtenidos en el estudio de Riofrío (2007), en donde el carbono almacenado es mayor en Aliso, aunque en una menor proporción, debido probablemente que en este estudio se trabaja con árboles adultos.

En el estudio Modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono en *Alnus Acuminata*, de Fonseca *et al* (2013), se utiliza la ecuación alométrica  $\text{Bárbol} = \exp(-262104 + 2,51635 * \ln(\text{dap}))$  con un coeficiente de correlación de 0,88, para el estudio se evaluó trabajar con esta ecuación obteniendo un coeficiente de correlación de 0,86, pero, finalmente se trabajó con el modelo alométrico de Nelson *et al* (1999) ya que obtuvo un coeficiente de correlación mayor a 0,88, además de trabajar con más variables lo que hace que se obtenga datos más confiables.

Los promedios de almacenamiento de Carbono por hectárea de 2,28 Mg para Acacia y 8,02 Mg para Aliso igualan o superan ampliamente los promedios esperados según (Kurstén y Burchell 1993 citado por Sánchez, Silvera, Milla, Messa, & Escobar 2003) que mencionan 2,8 Mg de C/ha/año en plantaciones para leña, 1,2 Mg de C/ha/año en bosques secundarios, este amplio margen de diferencia es atribuido a que los sistemas en estudio se encuentran en etapa juvenil y su crecimiento es muy significativo en cortos periodos de tiempo.

En el estudio se esperaba que el Carbono almacenado en la vegetación herbácea sea mucho mayor en los sistemas silvopastoriles asociados con pastizales, que en el sistema de control (sistema convencional); según Giraldo, Zapara, y Montoya (2007), esto se debe a las diferentes densidades de siembra de los árboles en pasturas de kikuyo, esta diferencia tiende a afectar la fijación de C por las pasturas asociadas a los SSPI y su retorno a través de las excretas de los animales en pastoreo; sin embargo, el manejo inadecuado de las pasturas, constituye una fuente de emisiones de carbono liberando en el suelo cerca de 13,7 Mg/C/ha, mientras si existe un adecuado manejo de las pasturas podrían incrementar el almacenamiento de carbono a 20,3 Mg/C/ha<sup>-1</sup> (Fearnside et al. 1998 citado por Ibrahim y Mora Delgado, 2006).

Los datos de carbono en la vegetación herbácea de los sistemas silvopastoriles no tuvieron una diferencia significativa con respecto al sistema convencional, esto según Zelada, (1996) citado por Mora (s.f.) se debe a que la vegetación arbórea tienen la copa por encima del pasto o especies forrajeras y al crecer en el mismo terreno, las especies leñosas no permiten el paso de la radiación solar al estrato herbáceo de una manera directa; además, tanto las leñosas como la vegetación herbácea, compiten también por agua y nutrientes otro causal del porque la vegetación herbácea disminuye materia orgánica hasta la producción forrajera, Sun, D et al, (1997) citado por Mora (s.f.). Hay que considerar que en el estudio aumentó a la cantidad de cenizas (minerales presentes en los pastos) (ver anexo 3). Belsky (1992), citado por Mora (s.f.), menciona que la composición nutricional en las especies forrajes no se han visto afectados por la presencia de especies arbóreas, pero en cuanto a los contenidos de N, P, K, B, Cu y Ca hubo un incremento desde la pradera abierta hasta la zona bajo la sombra de los árboles.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Se ha podido demostrar que los sistemas silvopastoriles pueden ser un eficiente sumidero de CO<sub>2</sub>, con el adecuado escogimiento de la especie arbórea para la implementación del sistema, este estudio muestra un promedio de captura media de carbono de 0,76 kg en el sistema de Aliso (*Alnus acuminata*) y tan solo a 0,28 kg en Acacia (*Acacia megaloxylon*).
- Se evaluaron varias ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea en los dos sistemas silvopastoriles, las ecuaciones con base al DAP (diámetro a la altura del pecho) y la altura fueron las más precisas. Las ecuaciones con mejor coeficiente de regresión fueron;

Acacia (*Acacia megaloxylon*):  $BA = \text{EXP}(-2.5202 + (2.14 * (\ln(D))) + 0.4644 * \ln(H))$  y,

Aliso (*Alnus acuminata*):  $\ln(BA) = 1.4278 + 2.3836 * \ln(DAP) + 0.7655 * \ln(DM)$

- Con las ecuaciones alométricas correspondientes y los monitoreos realizados se puede observar que el sistema de Aliso (*Alnus acuminata*) es más eficiente que el de Acacia (*Acacia megaloxylon*) en la acumulación de carbono. Los datos obtenidos permiten estimar un promedio anual de 8,02 y 2,28 Mg de carbono acumulado por hectárea, para cada sistema.
- El contenido de carbono de la vegetación herbácea del sistema convencional es superior a los encontrados en los sistemas silvopastoriles, con 4,30 Mg/ha/año, seguido por el Sistema silvopastoril Acacia (*Acacia megaloxylum*) con 4,07 Mg/ha/año y al final el Aliso (*Alnus acuminata*) con 3,82 Mg/ha/año.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se debería evitar el contacto del ganado con los sistemas durante el período de estudio, para evitar la influencia de este en el desarrollo de las leñosas y obtener un mejor modelo matemático para la proyección de acumulación de biomasa.
- Es conveniente que la toma de medidas en los diferentes monitoreos sea realizada por el mismo observador, para asegurar homogeneidad en la toma y lectura de medidas.
- Para garantizar las mismas condiciones de desarrollo en los sistemas a estudiarse, se debe procurar implementar los sistemas en terrenos con condiciones de drenaje y pendientes similares, para tener condiciones de humedad y erosión similares para el crecimiento de las leñosas.
- El presente estudio sugiere el uso de esta especie Aliso (*Alnus Acuminata*) sobre el de Acacia (*Acacia megaloxylum*) no sólo por su capacidad de almacenamiento de carbono, sino por tratarse de una especie nativa, propia de la región que forma parte del paisaje andino.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, O. (2006). *La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelo*. Costa Rica: ACORBAT.
- AGROCALIDAD. (17 de Septiembre de 2014). Procedimiento específico de ensayo, Determinación de Ceniza y Materia orgánica en muestras foliares. Ecuador.
- Alonso, J. (2011). *Dialnet*. Obtenido de Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3242906.pdf>.
- Andrade, H., e Ibrahim, M. (2003). *FAO*. Obtenido de ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono de los sistemas silvopastoriles?: <http://www.fao.org/tempref/docrep/nonfao/lead/x6378s/x6378s00.pdf>
- Andrade, H., Ibrahim, M., Jiménez, F., Finegan, B., y Kass, D. (2000). *CATIE*. Obtenido de Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo: <https://www.catie.ac.cr/en/what-do-we-work-on/agroforestry/silvopastoral-systems/silvopastoril-publications.html>
- Asturias, R. A. (2006). Las causas del cambio climático. *Red Ambiental de Asturias*.
- Bastos da veiga, J., & Feio da Veiga, D. (s.f.). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6343S/X6343S00.HTM>
- Benavides, H. (2016). Disposición de sistemas en la Finca San Vicente. (X. Sepúlveda, Entrevistador)
- Benavides, H., & León, G. (Diciembre de 2007). *ideam*. Obtenido de Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático : <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- CEPSA. (Noviembre de 2015). *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI)*. Obtenido de [https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp\\_Comp/Medio%20Ambiente\\_Seguridad\\_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf](https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf).

- ECEDILATAM. (2015). *Plan de Desarrollo y ordenamiento Territorial de la parroquia "El Carmelo"*. Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0460021480001\\_DIAGNOSTICO\\_30-10-2015\\_20-15-41.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0460021480001_DIAGNOSTICO_30-10-2015_20-15-41.pdf)
- FAO. (2000). *FAO*. Obtenido de Estadística: Regresión y correlación : <http://www.fao.org/docrep/003/X6845S/X6845S02.htm>
- Filippi, R. D. (2012). *Universidad de la frontera* . Obtenido de Trifolium repens (Trèbol blanco): [http://www.praderasypasturas.com/files/menu/catedras/praderas\\_y\\_pasturas/2010/21-Trebol-blanco.pdf](http://www.praderasypasturas.com/files/menu/catedras/praderas_y_pasturas/2010/21-Trebol-blanco.pdf)
- Fonseca, W., Ruíz, L., Rojas, M., y Alice, F. (2013 ). Modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono en *Alnus acuminata* . *Revista de Ciencias Ambientales Tropical Journal of environmental Sciences* , 37-46.
- Gamboa, C. (Junio de 2009). *Cámara de diputados*. Obtenido de Biocombustibles: <http://www.diputados.gob.mx/sedia/sia/spi/SPI-ISS-15-09.pdf>
- Herrera, M., Del Valle, J., y Orrego, S. (2001). *BIOMASA DE LA VEGETACIÓN HERBÁCEA Y LEÑOSA PEQUEÑA Y NECROMASA EN BOSQUES TROPICALES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS DE COLOMBIA*. Obtenido de [https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/28\\_Herrera.PDF](https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/28_Herrera.PDF)
- Humbolt, F., Aimé, J., y Karl, S. (28 de Abril de 1817). *Nova Genera et Species Plantarum* . Obtenido de [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf)
- Ibrahim, M., y Mora Delgado, J. (2006). Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. *Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales* (págs. 10-19). Costa Rica: FAO.
- Ibrahim, Villanueva, Cassola, y Rojas. (2006). *Redalyc*. Obtenido de Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos: [https://www.researchgate.net/profile/Jairo\\_Rojas4/publication/286787503\\_Sistemas\\_silvopastoriles\\_como\\_una\\_herramienta\\_para\\_el\\_mejoramiento\\_de\\_la\\_productividad\\_y\\_restauracion\\_de\\_la\\_integridad\\_ecologica\\_de\\_paisajes\\_ganaderos/links/57599bcf08ae9a9c954f1527.p](https://www.researchgate.net/profile/Jairo_Rojas4/publication/286787503_Sistemas_silvopastoriles_como_una_herramienta_para_el_mejoramiento_de_la_productividad_y_restauracion_de_la_integridad_ecologica_de_paisajes_ganaderos/links/57599bcf08ae9a9c954f1527.p)



- La Hesperia Biological Station. (2008). *Laesperia.com*. Obtenido de <http://www.laesperia.com/es/el-bosque-nublado/>
- Landázuri, H., y Jijón, C. (1986). *EL MEDIO AMBIENTE EN EL ECUADOR*. Quito: ILDIS. Obtenido de FLACSO: [http://www.fes-ecuador.org/publicaciones/sites/default/files/pdf/502%20MEDAMB1988\\_0126.pdf](http://www.fes-ecuador.org/publicaciones/sites/default/files/pdf/502%20MEDAMB1988_0126.pdf)
- Lanza, G., Minnick, G., Villegas, V., Irahola, J., Ramallo, J., y Calbimontes, G. (Noviembre de 1999). *fao*. Obtenido de Educación ambiental para el Trópico de Cochabamba: <http://www.fao.org/docrep/009/ah647s/AH647S00.htm>
- López, G. (s.f.). *SAGARPA*. Obtenido de Sistemas agroforestales: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Sistemas%20Agroforestales.pdf>
- Lozano, P. (2015). *ESPECIES FORESTALES ÁRBOLES Y ARBUSTIVAS DE LOS BOSQUES MONTANOS DEL ECUADOR*. Obtenido de Ministerio del Ambiente Ecuador: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>
- Machecha, L., Zoot, (2002). *Dialnet*. Obtenido de El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuy el impacto ambiental de la ganadería bovina: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3242906.pdf>.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Estadísticas de Patrimonio Natural* . Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/346525/ESTADISTICAS+DE+PATRIMONIO+FINAL.pdf/b36fa0a7-0a63-4484-ab3e-e5c3732c284b>
- Ministerio del ambiente, (2015). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica El Ángel* . Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/24+PLAN+DE+MANEJO+EL+ANGEL.pdf/134234ba-a47d-459c-956b-37b0155df002>
- Mora, V. (s.f.). *Pastoreo bajo plantaciones*. Obtenido de Fondo nacional del financiamiento Forestal, FONAFIFO: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvopastoril/40-pastoreo\\_bajo\\_plantaciones.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/40-pastoreo_bajo_plantaciones.pdf)
- Muhammad, I., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., . . . Rojas, J. (2006). *Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua*. Managua : Agroforestería en las Américas N°45.

- Muhammad, I., Mora, J., y Rosales, M. (Diciembre de 2001). Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. Turrialba : CATIE.
- Ornelas, J. (9 de Febrero de 2016). *Enfoques cualitativos y cuantitativos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/yoseor/enfoque-cualitativo-y-cuantitativo-58036189>
- Osinaga, O., Báez, S., Cuesta, F., Malizia, A., Carilla, J., Aguirre, N., y Malizia, L. (2014). *MONITOREO DE DIVERSIDAD VEGETAL Y CARBONO EN BOSQUES ANDINOS-PROTÓCOLO EXTENDIO VERSIÓN 1* . Quito: CONDESAN/IER-UNT/COSUDE.
- Riofrío, J. (2007). Cuantificación del carbono almacenado en dos sistemas agroforestales en la estación experimental Santa Catalina - INIAP. Ecuador. Riobamba, Chimborazo, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Ruíz, A., Ibrahim, M., Locatelli, B., Andrade, H., y Beer, J. (2004). *sidalc*. Obtenido de Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica de fincas ganaderas en Matiguás, Nicaragua: <http://www.sidalc.net/repdoc/A2407e/A2407e.pdf>
- Salazar, R., Soihet, C., y Méndez, J. (2000). *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina*. Turrialba: CATIE.
- Sánchez, K., Silvera, C., Milla, M., Messa, F., y Escobar, A. (2003). Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela. *CATIE*.
- SERFOR. (2015). *SERFOR*. Obtenido de [www.serfor.gob.pe/bosques-productivos/servicios-forestales/plantaciones-forestales](http://www.serfor.gob.pe/bosques-productivos/servicios-forestales/plantaciones-forestales).
- Sidalc. (2003). *sidalc.net*. Obtenido de Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastorils en fincas ganderas de Esparza, Costa Rica: <http://www.sidalc.net/repdoc/A2349e/A2349e.pdf>
- SINERGIA. (2016). *Impactos ambientales en agricultura*. Obtenido de <file:///D:/TESIS/Impactos%20ambientales.pdf>
- Slebert, H., y Bauerle, P. (1995). *Revista ciencia sforestales*. Obtenido de *Acacia melanoxyton*: [http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1995\\_vol10/n1-2a03.pdf](http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1995_vol10/n1-2a03.pdf)
- Tapia, L. (2015). *Plan de manejo de la reserv ecológica EL ÁNGEL* . Obtenido de Plan de manejo de la reserv ecológica EL ÁNGEL :

<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/24+PLAN+DE+MANEJO+EL+ANGEL.pdf/134234ba-a47d-459c-956b-37b0155df002>

The Global Economy. (2018). *TheGlobalEconomy.com*. Obtenido de [https://es.theglobaleconomy.com/Ecuador/Carbon\\_dioxide\\_emissions\\_per\\_capita/](https://es.theglobaleconomy.com/Ecuador/Carbon_dioxide_emissions_per_capita/)

Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). *Pennisetum clandestinum*. Obtenido de [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Fertilisation-des-Terres-et-des-Sols/eaux-et-sols-salins/plantes-pour-sols-salins/Pennisetum%20clandestinum/Pennisetum%20clandestinum\\_Kikuyo\\_Colombia.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Fertilisation-des-Terres-et-des-Sols/eaux-et-sols-salins/plantes-pour-sols-salins/Pennisetum%20clandestinum/Pennisetum%20clandestinum_Kikuyo_Colombia.pdf)

Universidad Técnica de Ambato. (20 de Enero de 2014). *Trébol blanco (Trifolium repens)*. Obtenido de [https://issuu.com/davidortiz35/docs/trifolium\\_repens\\_\\_tr\\_\\_bol\\_blanco\\_.p](https://issuu.com/davidortiz35/docs/trifolium_repens__tr__bol_blanco_.p)

## VII. ANEXOS

### Anexo 1.

#### Registro de datos primarios de leñosas

ID	(Ø)1 (cm)	(Ø)2 (cm)	H (m)	COD	Observaciones	Punto de medida Diametro

*Figura 12.* Registro de datos primarios de leñosas.

**Nota:** Identificación (ID), diámetro (Ø), altura (H), Código del árbol muestreado (COD).

### Anexo 2.

#### Registro de datos primarios de análisis en la vegetación herbácea en los tres sistemas

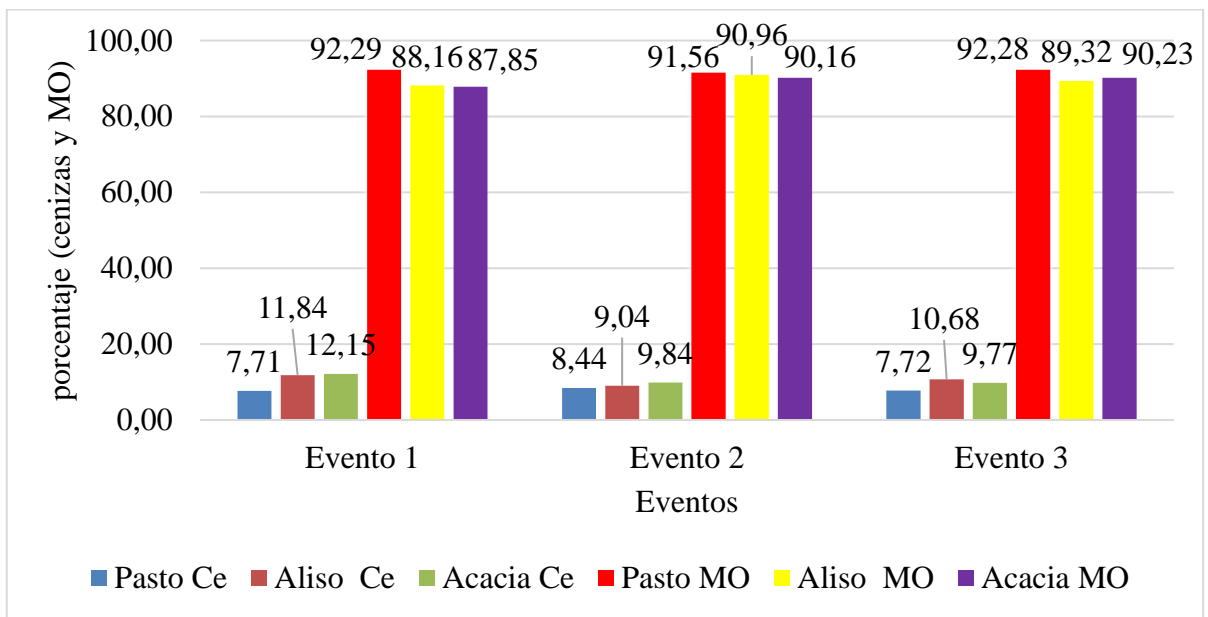
ID	Peso humedo	Peso seco	% Materia orgánica	Cenizas	Observaciones

*Figura 13.* Registro de datos primarios de análisis en la vegetación herbácea en los tres sistemas.

**Nota:** Identificación (ID).

### Anexo 3.

De acuerdo a la figura 14, La materia orgánica en los pastos de los tres sistemas tiene pequeñas variaciones, y la tendencia observada en los monitoreos realizados es que la vegetación herbácea del sistema de control acumula más materia orgánica que el sistema acacia y los dos más que el sistema aliso. Las cenizas muestran una tendencia contraria, este comportamiento responde a los aportes de los sistemas silvopastoriles al enriquecimiento mineral del suelo.




**Figura 14.** Comparación de porcentajes de cenizas y materia orgánica en los tres sistemas

**Nota:** Cenizas (Ce), Materia orgánica (MO)

## Anexo 4.

### Informe de laboratorio

**INFORME DE RESULTADOS**  
**LABORATORIOS - FIACA**  
 Universidad Politécnica Estatal del Carchi



DATOS DEL CLIENTE	
Nombre:	Xiomara Sepúlveda Cayambe
Dirección:	Tulcán
e - mail:	

No. muestra	SFA 17001 - SFA 17048
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	
Descripción:	Pasto
Lugar:	EL Carmelo
Contenedor:	Bolsa de papel
Lote:	N/A
Toma de muestra:	Externo
Cantidad de muestras:	48
<b>FECHAS Y OBSERVACIONES</b>	
Recogida:	21/05/2017
Inicio:	21/05/2017
Entrada:	21/05/2017
Finalización:	24/11/2017
<b>RESULTADOS</b>	

ORT	Fecha	Código	% Humedad	% Materia seca	% cenizas	% MO
ACT1 01	21/05/2017	SFA 17001	74,63	25,37	8,18	91,82
ACT1 02	21/05/2017	SFA 17002	74,80	25,20	10,06	89,94
ACT1 03	21/05/2017	SFA 17003	69,60	30,40	12,43	87,57
ACT1 04	21/05/2017	SFA 17004	81,07	18,93	13,20	86,80
ACT2 01	21/05/2017	SFA 17005	84,19	15,81	11,58	88,42
ACT2 02	21/05/2017	SFA 17006	83,96	16,04	12,93	87,07
ACT2 03	21/05/2017	SFA 17007	78,17	21,83	12,94	87,06
ACT2 04	21/05/2017	SFA 17008	80,37	19,63	13,63	86,37
ACT3 01	21/05/2017	SFA 17009	78,97	21,03	13,23	86,77
ACT3 02	21/05/2017	SFA 17010	84,44	15,56	12,47	87,53
ACT3 03	21/05/2017	SFA 17011	82,38	17,62	13,58	86,42
ACT3 04	21/05/2017	SFA 17012	87,74	12,26	13,52	86,48
ACT4 01	21/05/2017	SFA 17013	82,70	17,30	9,31	90,69
ACT4 02	21/05/2017	SFA 17014	82,96	17,04	10,45	89,55
ACT4 03	21/05/2017	SFA 17015	88,83	11,17	13,22	86,78
ACT4 04	21/05/2017	SFA 17016	79,68	20,32	13,69	86,31
ALT1 01	19/08/2017	SFA 17017	82,92	17,08	10,49	89,51
ALT1 02	19/08/2017	SFA 17018	87,97	12,03	14,31	85,69
ALT1 03	19/08/2017	SFA 17019	90,00	10,00	14,46	85,54
ALT1 04	19/08/2017	SFA 17020	86,89	13,11	14,76	85,24
ALT2 01	19/08/2017	SFA 17021	81,07	18,93	12,15	87,85
ALT2 02	19/08/2017	SFA 17022	83,29	16,71	10,82	89,18
ALT2 03	19/08/2017	SFA 17023	82,21	17,79	10,14	89,86
ALT2 04	19/08/2017	SFA 17024	85,24	14,76	13,95	86,05
ALT3 01	19/08/2017	SFA 17025	80,29	19,71	7,98	92,02
ALT3 02	19/08/2017	SFA 17026	84,13	15,87	11,27	88,73
ALT3 03	19/08/2017	SFA 17027	80,45	19,55	9,02	90,98
ALT3 04	19/08/2017	SFA 17028	79,02	20,98	14,17	85,83
ALT4 01	19/08/2017	SFA 17029	83,87	16,13	13,77	86,23
ALT4 02	19/08/2017	SFA 17030	88,96	11,04	11,31	88,69
ALT4 03	19/08/2017	SFA 17031	84,65	15,35	10,20	89,80
ALT4 04	19/08/2017	SFA 17032	89,23	10,77	10,63	89,37

1

INFORME DE RESULTADOS  
LABORATORIOS - FIACA  
Universidad Politécnica Estatal del Carchi

SCT1 01	19/11/2017	SFA 17033	77,76	22,24	7,53	92,47
SCT1 02	19/11/2017	SFA 17034	74,73	25,27	7,91	92,09
SCT1 03	19/11/2017	SFA 17035	77,08	22,92	6,57	93,43
SCT1 04	19/11/2017	SFA 17036	80,50	19,50	8,79	91,21
SCT2 01	19/11/2017	SFA 17037	78,71	21,29	3,54	96,46
SCT2 02	19/11/2017	SFA 17038	83,31	16,69	8,59	91,41
SCT2 03	19/11/2017	SFA 17039	80,56	19,44	8,04	91,96
SCT2 04	19/11/2017	SFA 17040	75,58	24,42	8,69	91,31
SCT3 01	19/11/2017	SFA 17041	75,45	24,55	7,49	92,51
SCT3 02	19/11/2017	SFA 17042	75,98	24,02	6,34	93,66
SCT3 03	19/11/2017	SFA 17043	86,15	13,85	8,73	91,27
SCT3 04	19/11/2017	SFA 17044	84,33	15,67	9,07	90,93
SCT4 01	19/11/2017	SFA 17045	82,64	17,36	8,28	91,72
SCT4 02	19/11/2017	SFA 17046	83,10	16,90	7,74	92,26
SCT4 03	19/11/2017	SFA 17047	86,42	13,58	8,20	91,80
SCT4 04	19/11/2017	SFA 17048	75,77	24,23	7,87	92,13

Tulcán, 27 de noviembre de 2017

  
Vinicio W. Revelo R.  
Jefe de Laboratorio



  
Xiomara Sepúlveda  
Analista

**Figura 15.** Informe de laboratorio