

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POST GRADO**



PROGRAMA DE MAESTRÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

LÍNEA: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS

**DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DEL CARBONO EN DOS
SISTEMAS DE PASTOS MEJORADOS EN EL DISTRITO DE
SAN SILVESTRE DE COCHÁN PROVINCIA DE SAN MIGUEL
- CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presentado Por:

Maestriza : Fredesbinda Romero Salazar

Asesora: Dra. Consuelo Belania, Plasencia Alvarado.

Cajamarca – Perú

2015

COPYRIGHT©2013 by
Fredesbinda Romero Salazar
Todos los derechos reservados

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POST GRADO**



**PROGRAMA DE MAESTRÍA
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
LÍNEA: GESTIÓN AMBIENTAL**

TESIS

**DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DEL CARBONO EN DOS
SISTEMAS DE PASTOS MEJORADOS EN EL DISTRITO DE
SAN SILVESTRE DE COCHÁN PROVINCIA DE SAN MIGUEL
- CAJAMARCA**

Presentado Por:

Maestriza : Fredesbinda Romero Salazar

Comité científico

**Dra. Consuelo Plasencia Alvarado
Asesora**

**Dr. Berardo Escalante Zumaeta
Presidente del comité**

**Dr. Marcial Mendo Velásquez
Primer Miembro Titular**

**Dr. Héctor Gamarra Ortiz
Segundo Miembro Titular**

Cajamarca – Perú

2015

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, por su amor, paciencia y confianza, por su apoyo incondicional que tantas fuerzas me ha dado para seguir luchando aun cuando el cansancio ha querido imponerse, dedico este trabajo que resume muchas horas de entrega y constancia.

AGRADECIMIENTO

A Dios

Por darme salud y fuerza por cumplir uno de mis objetivos en la vida, y permitir que mis familiares sean partícipes de esto.

A mi asesora de tesis Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado, por su confianza, orientación y permanente apoyo durante todo el desarrollo de mi tesis por compartir conmigo parte de su conocimiento.

A mi **familia, amigos** y a todas las personas que, de una u otra manera, colaboraron y ayudaron al desarrollo del presente trabajo y en mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros de maestría, por hacer este proceso ameno y por enseñarme tantas cosas.

CONTENIDO

Ítem	página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
LISTA DE ILUSTRACIONES	vii
LISTA DE ABREVIACIONES	viii
GLOSARIO	ix
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1. Planteamiento del problema	5
1.2. Formulación del problema	6
1.3. Justificación de la investigación	6
1.4. Delimitación de la investigación	8
1.5. Limitaciones de la investigación	9
1.6. Objetivos de la investigación	9
1.7. Hipótesis	10

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	11
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Diferentes escenarios de captura de carbono	19
2.2.2. El carbono en ecosistemas forestales tropicales	20
2.2.3. El carbono en los sistemas agroforestales	22
2.2.4. Fuentes de carbono	23
2.2.5. Captura de carbono	24
2.2.6. Ciclo de carbono	25
2.2.7. Fijación de bióxido de carbono	29
2.2.8. Fotosíntesis	30

2.2.9	Flujos y almacenes de carbono en ecosistemas forestales y Silvopastoriles	32
2.2.10	Efecto invernadero	33
2.2.11	El cambio climático	35
2.2.12	Sistemas Pastoriles	45
2.2.13	Los pastizales y el carbono	46
2.2.14	Bienes y servicios ambientales	54
2.2.15	El Protocolo de Kyoto	56
2.3	Definición de términos básicos	58

CAPÍTULO III

3	DISEÑO DE LA CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	60
3.1	Variables de identificación y selección de las unidades de análisis	60
3.2	Metodología de la investigación	61

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
----------	-------------------------------	-----------

CAPÍTULO V

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
5.1	Conclusiones	90
5.2	Recomendaciones	92

LISTA DE REFERENCIAS

ANEXOS

1	Fichas de evaluación
2	Fotos
3	Especificaciones técnicas de los pastos.
4	Datos de Análisis Estadístico
5	Formato de fichas de evaluación de campo
6	Mapa de ubicación del estudio y mapa de ubicación de las parcela

LISTA DE ILUSTRACIONES

CUADROS

	página
Cuadro 1. Determinación de carbono en la biomasa aérea de avena	69
Cuadro 2. Determinación de carbono en la biomasa aérea de rye grass	70
Cuadro 3. Determinación de carbono en la biomasa aérea en dos sistemas de pastos	70
Cuadro 4. Determinación de carbono en la biomasa radicular de avena	71
Cuadro 5. Determinación de carbono en la biomasa radicular de rye grass	72
Cuadro 6. Determinación de carbono en biomasa radicular en dos sistemas de pastos	72
Cuadro 7. Determinación de carbono total en biomasa aérea y radicular en dos sistemas de pastos	74
Cuadro 8. Cuantificación de carbono del suelo en avena	75
Cuadro 9. Cuantificación de carbono del suelo en rye grass	76
Cuadro 10. Determinación de carbono total del suelo en dos sistemas de pastos mejorados de avena y rye grass	77
Cuadro 11. Determinación de carbono total en dos sistemas de pastos	78
Cuadro 12. Determinación de carbono estimado (CO ₂) en dos sistemas de pastos	79

FIGURAS

Figura 1. Ciclo del carbono en pastos	50
Figura 3. Croquis de diseño del muestreo por hectárea	63
Figura 5. Diagrama de una calicata del suelo a diferente profundidad	66

TABLAS

Tabla 1. Potencial para la secuestro de carbono de las prácticas de gestión de los pastizales	49
Tabla 2. Tipificación del diseño de la investigación	61
Tabla 3. Fuentes, técnicas e instrumentos para la recolección de los datos de las variables	62

GRÁFICOS

Gráfico 1. Determinación de carbono en biomasa aérea y biomasa radicular en avena	73
Gráfico 2. Determinación de carbono en biomasa aérea y biomasa radicular en rye grass.	74
Gráfico 3. Determinación de carbono total del suelo en avena	75
Gráfico 4. Determinación de carbono total del suelo en rye grass	77
Gráfico 5. Determinación de carbono estimado (CO ₂) en dos sistemas de pastos	79
Gráfico 6. Determinación de carbono en la biomasa aérea de dos sistemas de pastos de avena y rye grass	82
Gráfico 7. Determinación de carbono en la biomasa radicular de dos sistemas de pastos de avena y rye grass	84
Gráfico 8. Determinación de carbono en biomasa total de dos sistemas de pastos	85
Gráfico 9. Determinación de carbono total en el suelo de dos sistemas de pastos de avena y rye grass	87
Gráfico 10. Determinación de carbono total de dos sistemas de pastos	88

LISTA DE ABREVIACIONES

BSA:	Bienes y servicios ambientales
CO:	Monóxido de carbono
C:	Carbono
CO₂:	Dióxido de carbono
CH₄:	Metano
GEI:	Gases efecto invernadero
t C:	Toneladas de carbono
t Cha₁:	Toneladas de carbono por hectárea
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
GCCIP:	Global Climate Information Programme
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAM:	Fondo Nacional del Ambiente
NADPH:	Nicotina mide Adenina Di nucleótido fosfato
INDECI:	Instituto Nacional de Defensa Civil
N₂O:	Óxido Nitroso
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

GLOSARIO

AGROFORESTAL: Sistema de cultivos que combina, plantaciones perennes con árboles forestales o frutales y pastos.

BIOMASA: Materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético.

BIOMASA AÉREA: Material vegetal acumulado sobre el nivel del suelo (entrenudos aéreos del tallo, raíces, y estructuras reproductivas).

CARBONO: Elemento químico de número atómico 6 y símbolo C. Forma la base de muchas moléculas de organismos vivos y, por ende, es uno de los elementos fundamentales de la química orgánica. Junto con el oxígeno, compone la molécula de dióxido de carbono, uno de los gases atmosféricos responsables del efecto invernadero.

CARBONO ALMACENADO: Cantidad de carbono presente en la vegetación en forma de materia orgánica o compuestos de carbono.

CAMBIO CLIMÁTICO: Cualquier variación global que ocurra en el clima a través del tiempo y que se produzca sobre todos los parámetros climáticos (temperatura, precipitación, nubosidad, etc.). Se atribuye directa o indirectamente a la acción humana ocurrida en los últimos siglos. Altera la composición de la atmósfera global y es adicional a la variabilidad natural del clima en el tiempo.

CICLO DEL CARBONO: Son las transformaciones químicas de compuestos que contienen carbono en los intercambios entre biósfera, atmósfera, hidrósfera y litósfera; Es un ciclo de gran importancia para la supervivencia de los seres vivos en nuestro planeta, debido a que de él depende la producción de materia orgánica.

CAPTURA DE CARBONO: Extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono como los océanos, los bosques o la tierra a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis.

CALENTAMIENTO GLOBAL: Aumento de la temperatura media de la atmósfera terrestre y de los océanos a través del tiempo, como consecuencia del incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂): Compuesto químico, gas que existe en la atmósfera y uno de los gases de efecto invernadero más abundantes. El CO₂ también se genera como subproducto de la combustión de combustibles fósiles o cambios de uso del suelo.

EFFECTO INVERNADERO: El efecto invernadero es el proceso por el cual la energía del sol, tras calentar la superficie terrestre al incidir sobre ella, se retiene por un efecto de retroalimentación en la atmósfera, producido por el vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases atmosféricos.

FOTOSÍNTESIS: Proceso o conjunto de reacciones químicas, que tienen lugar en el interior de los cloroplastos, por las que las plantas verdes sintetizan su

propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas a través de la energía solar.

GASES EFECTO INVERNADERO (GEI): Gases como el CO₂ que absorben y emiten radiación, atrapando el calor en la atmosfera y contribuyendo al efecto invernadero

HUELLA DE CARBONO: Es la totalidad de emisiones de gases de efecto invernadero como resultado de la actividad de una organización, un acto o un producto. En general se expresa como una determinada cantidad de dióxido de carbono, o su equivalente.

MATERIA SECA: Es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio. Se expresa generalmente en porcentaje.

PASTIZAL: Cualquier área que produce forraje, ya sea en forma de gramíneas, gramínoideas, arbustos, hierbas o mezclas de éstas.

PASTOS PERENNES: Aquellos que producen nuevos brotes o macollos dando continuidad de vida a la planta más de dos años, produciendo cada año semillas.

PASTOS ANUALES: Aquellos que completan su ciclo de vida en una estación del año.

PASTOS: Se refiere a las plantas, especialmente herbáceas, gramíneas y leguminosas que son consumidas directamente por los animales.

PASTURA SUPLEMENTARIA: Es una pastura artificial establecida específicamente para proporcionar nutrientes, en relación con la utilización del forraje de una pradera natural.

PASTURA: Tierras de pastoreo bajo un relativo manejo intensivo desde el punto de vista agronómico, requiriendo labores culturales.

PESO FRESCO: Es el peso que tiene una muestra con humedad.

PESO SECO AL AIRE: Es el peso que resulta de la planta secada a la sombra al aire o en horno secador a 70 °C. Este forraje contiene de 10 a 12 % de humedad.

PROTOCOLO DE KYOTO: Protocolo Internacional para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en virtud del cual los países industrializados se comprometen a combatir el calentamiento global mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, siguiendo la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992.

REGENERACIÓN NATURAL: Proceso ecológico esencial estrechamente ligado a la sucesión natural de comunidades, por medio del cual la biomasa y las poblaciones de especies de plantas, se renuevan o se reponen en tiempos determinados, en sus ecosistemas y hábitats originales.

RESERVAS DE CARBONO: La cantidad de carbono en un “depósito”, o sea una reserva o sistema capaz de almacenar o liberar el carbono.

SERVICIOS AMBIENTALES: También llamados servicios naturales, son bienes y servicios que proporciona la naturaleza a toda la humanidad o a una población, desde el punto de vista económico. Los servicios ambientales, son directamente dependientes

del funcionamiento “saludable” de los ecosistemas y de la biodiversidad que éstos contienen. Entre los servicios ambientales más importantes para la sociedad humana se incluyen el suministro de agua potable (ciclo de agua), la fijación de carbono y la polinización de las plantas.

tCO₂: Toneladas de dióxido de carbono. Utilizadas en los cálculos matemáticos.

VEGETACIÓN: Es la suma total de las plantas que cubren un área determinada.

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en el distrito de San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel, del departamento de Cajamarca, ubicado a una altitud de 3600 msnm, el objetivo general fue determinar la captura de carbono en dos sistemas de pastos mejorados en el distrito de San Silvestre de Cochán Provincia de San Miguel – Cajamarca; con la finalidad de obtener información para futuras investigaciones sobre el tema, considerando como alternativa para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y servicios ambientales.

El trabajo se desarrolló con un diseño no experimental mediante el análisis descriptivo, se realizó en parcelas de pastos mejorados en áreas de 2 ha, 1 ha de *Avena sativa L* (avena) y 1 ha de *Lolium multiflorum Lam* (rye grass). Se usó el método directo no extractivo para calcular la biomasa aérea, biomasa radicular en dos estados en fresco y seco, obteniendo en cálculo del % de materia seca y para la muestra de suelo, se realizó a partir la del perfil del suelo, encontrándose el peso seco y densidad aparente. Para conocer el contenido de carbono en los pastos se utilizó el método de determinación del factor de conversión de carbono (0,5) y para saber si existe variación entre las medias de las variables de carbono de los dos sistemas de pastos se utilizó la prueba de “t” de Studen.

En la evaluación realizada se encontró, que el sistema de pasto de rye grass, fue más eficiente en la captura de carbono estimado con 169,55 t CO₂-e/ha/año,

superando al sistema de avena con 167.72 t CO₂-e/ha/año; también se determinó el valor de biomasa de carbono total acumulado en los sistemas de pastos, el rye grass presentó mayores niveles de carbono total 46,2 t C/ha/año, seguido el de avena con 45,7 t C/ha/año.

Palabras clave: Captura de carbono, biomasa aérea, biomasa radicular, sistemas de pastos.

SUMMARY

The research work was carried out in the District of Cochán, province of San Miguel, in the Department of Cajamarca, located at an altitude of 3600 meters above sea level, the general objective was to determine the carbon sequestration in two systems of improved pastures in the District of San Silvestre de Cochán province of San Miguel - Cajamarca; with the purpose of obtaining information for further research on the subject, considering as an alternative to mitigate GHG emissions greenhouse and environmental services.

Work was developed with a non-experimental design using the descriptive analysis, was carried out in plots of pasture improved in areas of 2 ha, 1 ha of *Avena sativa* L. (oats) and 1 ha of *Lolium multiflorum* Lam (rye grass). Non-consumptive direct method to calculate the biomass, root biomass in two states in a cool dry was used, obtaining in calculating the % dry matter and the soil sample, was made from the depth of the soil profile, being dry weight and bulk density. The method for determining the carbon conversion factor (0, 5) was used and whether there is variation between the means of the variables of the two carbon

pasture systems test was used to determine the carbon content in pasture "t" Studen.

In the assessment, was found to rye grass pasture system, more efficient capture of carbon estimated with 169,55 t CO₂- e/ha/year, beating out the oats with 167.72 system t CO₂- e/ha/year; also determined the value of biomass of total carbon accumulated in pasture systems, the rye grass presented higher levels of total carbon 46.2 t C/ha/year, followed that of oats with 45.7 t C/ha/year.

Key words: Capture carbon, aboveground biomass, root biomass, and pasture systems.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El carbono es un componente esencial para los seres vivos, en su mayor parte se presenta como dióxido de carbono en la atmósfera, los océanos y en los combustibles fósiles, a manera de carbón petróleo y otros hidrocarburos. El CO₂ en la atmósfera es absorbido por las plantas y convertido en carbohidratos y tejidos a través del proceso de fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono (Lapeyre et al. 2004).

La captura de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo, así mismo la captura de carbono a través de la vegetación es el mecanismo más prometedor para la mitigación del efecto invernadero con respecto al excedente de dióxido de carbono (CO₂) en la atmosfera (Taiz y Zeiger, 1998).

Los ecosistemas vegetales constituyen un proceso natural para sustraer bióxido de carbono atmosférico ya que por medio de la fotosíntesis el carbono fijado en la estructura vegetal donde se mantiene almacenado por largos periodos de tiempo,

lo cual es función de las características de la vegetación y el manejo mismo (Zermeño y col., 2011).

Según Sánchez y col. (1999) menciona que la asociación de árboles con cultivos o pasturas puede presentar una alternativa sostenible a la deforestación y a la agricultura de roza, tumba y quema. Esta práctica tiene un gran potencial para la captura de carbono en tierras de cultivo.

Estudios realizados en el trópico húmedo muestran la capacidad de almacenar carbono de los nuevos tipos de pastos, así mismo una pastura de *Brachiaria dictyoneura* retiene 60 por ciento más de carbono que una de pasto natural (*Axonopus compressus*) debido a la mayor biomasa y longevidad radicular, y al incremento en la acumulación de carbono en el suelo por el aporte de materia orgánica (Veldkamp, 1997).

Zermeño et al. (2011) menciona que, el papel de las pasturas en el ciclo del carbono contienen aproximadamente el 20 por ciento del aporte global del carbono orgánico del suelo, de esta forma las áreas de pastos están contribuyendo al secuestro de carbono de la atmósfera y reduciendo la tasa de incremento de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico.

Por otro lado en el artículo 3.4 del Protocolo de Kyoto, menciona que permite la expansión de los sumideros de carbono creados por la intervención humana y considera los sumideros en los países y reconocen el potencial fundamental de la agricultura, de las tierras de pastoreo y de los suelos forestales para capturar

carbono y la necesidad de conceder créditos nacionales para favorecer la formación de sumideros de carbono en los suelos agrícolas.

Determinar la cantidad de carbono en los sistemas de pastos es muy importante para conocer la cantidad almacenada de dicho elemento tanto en la biomasa aérea, radicular y suelo, en fresco como en seco debido a que los pastos no acumulan en la misma proporción el carbono (Ávila y col., 2004). Por lo que el *Lolium multiflorum* Lam (rye grass) y *Avena sativa* L (avena) serían buenos sumideros de CO₂ a través de la acumulación de carbono en la materia orgánica y en la biomasa de las plantas.

En Cajamarca no existe investigaciones sobre este tema, pero si se reportan trabajos sobre captura de carbono en temas ambientales y efecto invernadero, los que fueron de gran ayuda para el presente estudio.

El objetivo de la investigación fue determinar la captura de carbono en dos sistemas de pastos mejorados en el distrito de San Silvestre de Cochán Provincia de San Miguel – Cajamarca, y así generar información para futuras investigaciones sobre el tema y considerarlo como alternativa para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y servicios ambientales.

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción del problema

Los sistemas de pastos, representan importantes sumideros de carbono; sin embargo, no han sido considerados en este sentido, debido a la ausencia de información cuantificada sobre su potencial de almacenamiento y la fijación de carbono (Ávila, 2001). El hecho de que no se consideren los beneficios ambientales y los costos económicos de la degradación de los recursos naturales, puede resultar una de las principales causas de la creciente sobreexplotación y deterioro de los ecosistemas (Arévalo y col., 2003).

A nivel nacional y mundial se tiene referencia del carbono secuestrado por bosques naturales y especies generalmente exóticas en plantación, pero los estudios son puntuales en el tiempo y se basan en muchas extrapolaciones, la mayoría se refieren a parte de la biomasa aérea y no al ecosistema (Arévalo et al., 2003). Del mismo modo los pastizales cubren cerca de 3,4 billones de hectáreas en el mundo lo que equivale la quinta parte de la superficie total del planeta y el incremento de la captura del CO₂ pueden tener una importante contribución en la disminución de CO₂ en la atmosfera (Zermeño y col., 2011).

Los pastos cumplen un papel fundamental en la mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero, y el CO₂ es uno de esos gases, así mismo las plantas a través de la fotosíntesis fijan en la biomasa estos gases, de este modo se crea un

reservorio importante para almacenar CO₂ y otros gases de invernadero por un periodo de tiempo prolongado, por ello es preciso cuantificar el carbono almacenado en los pastos para paliar el cambio climático global (Lapeyre et al., 2004).

El carbono en la biomasa aérea, especialmente en sistemas agroforestales donde al combinar los cultivos o frutales con especies forestales, incrementan sus niveles de captura de carbono, mejorando además su productividad (Lapeyre et al. 2004), sin embargo, también se han realizado otros estudios, que evalúan las reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en las regiones de Amazonas y Ucayali (Alegre y col., 2000).

Las plantas son los elementos básicos de cada ecosistema terrestre, de ahí que su respuesta a mayores niveles de CO₂, así como a temperaturas más elevadas y alteraciones del nivel de humedad, jugará un papel decisivo a la hora de determinar el efecto global del cambio climático en la biósfera terrestre.

El cambio climático representa una de los problemas más preocupantes para el medio ambiente debido al gran impacto negativo que está ocasionando en la salud humana, la seguridad alimentaria y la economía mundial, los recursos naturales y la infraestructura física. Este fenómeno se refleja en el calentamiento global, que es causado por el aumento en las concentraciones de los gases de efecto invernadero, especialmente del dióxido de carbono, en gran parte proveniente del cambio climático en el uso de la tierra (Ortiz y col. 2006).

El calentamiento global se produce por el aumento de la temperatura causado por el incremento de la concentración de los gases efecto invernadero en la atmosfera,

siendo una amenaza para la humanidad que interesa a todos en el ámbito científico, político, económico y ambiental. Con la firma del protocolo de Kyoto en el año 1998, se crean nuevas opciones para continuar la actividad de secuestro y la comercialización de carbono, pero al mismo tiempo son necesarios estudios confiables sobre la capacidad de secuestro de carbono de diferentes ecosistemas, y poder compensar acertadamente a los propietarios de tierra que decidan brindar parte o todo su predio a la producción de servicios ambientales, específicamente al secuestro de carbono (Fonseca et al., 2008).

1.2. Formulación del problema

Pregunta General:

¿Cuál de los dos sistemas de pastos mejorados avena y rye grass presenta mayor captura de carbono en el distrito de San Silvestre de Cochán Provincia de San Miguel – Cajamarca?

1.3. Justificación de la investigación

Los pastos cumplen un papel fundamental en la mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero, y el CO₂ es uno de esos gases, así mismo las plantas a través de la fotosíntesis fijan en la biomasa estos gases, de este modo se crea un reservorio importante para almacenar CO₂ y otros gases de invernadero por un periodo de tiempo prolongado, por ello es preciso cuantificar el carbono almacenado en los pastos para paliar el cambio climático global (Lapeyre et al., 2004).

Los sistemas agroforestales y silvopasturas, podrían constituir una salida económica de la producción en armonía con el ambiente; si son desarrollados en la base del reconocimiento a los productores por los servicios ambientales que ellos generen. En este sentido se debe aplicar el pago por servicios ambientales, principalmente bajo el concepto de la función que generan los bosques y la vegetación en la disminución de emisión de gases efecto invernadero especialmente el dióxido de carbono (CO₂).

Los sistemas de pasturas y silvopastoriles mejorados y bien manejados representan una importante alternativa de recuperación de áreas degradadas, son una actividad económica viable para el productor que muestra un alto potencial de captura de carbono (Fisher et al, 1994)

Con la firma del Protocolo de Kyoto, se establece el marco legal para el comercio de carbono y con esto se abren grandes oportunidades para los países en desarrollo de optar por financiamiento y poner en marcha proyectos de recuperación de áreas degradadas ya sea, por plantaciones o regeneración natural. Al mismo tiempo, se hace necesario generar la información para proyectar de una manera confiable la capacidad de captura de carbono de los ecosistemas forestales y sistemas de pastos, y poder retribuir o compensar económicamente al propietario del bosque o pastos por la cantidad y calidad del servicio ambiental generado en su propiedad (Fonseca et al. 2008).

En la región de Cajamarca se han desarrollado trabajos de captura de carbono forestación y silvopasturas con fines de conservación de suelos, servicios ambientales y mitigación de emisión de gases efecto invernadero, que han sido implementados con el apoyo de la Cooperación Internacional otras instituciones

públicas y privadas como gobiernos regionales y locales, ONG, que han ido desarrollando una nueva cultura en los productores de esta región; estos proyectos han permitido obtener información a nivel de la provincia y distrito de Cajamarca pero no para otras provincias como es San Miguel y Distrito de San Silvestre de Cochán.

En tal sentido, determinar la captura de carbono en las plantaciones de dos sistemas de pastos mejorados en el distrito de San Silvestre de Cochán Provincia de San Miguel - Cajamarca, con la finalidad de obtener información para futuras investigaciones sobre el tema considerando como alternativa para mitigar las altas emisiones de gases de efecto invernadero y servicios ambientales.

1.4. Delimitación de la investigación

El estudio se realizó en el distrito de San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel, del departamento de Cajamarca, a una altitud de 3600 msnm.

➤ Características climatológicas, topográficas y fisiográficas de la zona de estudio

Clima: Presentó un clima agradable para la vida humana, su zona de vida natural es bosque seco premontano tropical, templado durante el día y frío durante las noches, se encuentra en la parte alta del distrito. De acuerdo a la clasificación de Javier Pulgar Vidal, la zona del estudio, corresponde a la zona de la región natural Jalca.

Temperatura: La temperatura fue muy irregular, temperatura media anual 13°C, temperatura máxima 21°C, temperatura mínima 5°C.

Precipitación: Presentó precipitaciones anuales siendo la distribución mensual variada produciéndose mayor en los meses de enero a marzo.

Altitud: Por la superficie geográfica bastante accidentada del distrito, tiene una altitud de 3600 m.s.n.m.

Geología: Predominó las rocas cuarcitas, areniscas blancas, grisáceas de grano fino a medio.

Fisiografía: Presentó un paisaje muy variado

Suelo: suelos franco Arcilloso con pH de 6 a 7,2

➤ **Recursos Bióticos**

Flora y fauna: La principal flora que se pudo encontrar es forraje para ganado principalmente avena, rye grass y otros cultivos como la cebada, papa, oca, olluco entre otros. Existe una diversidad de tipos de animales como vacuno, ovino, porcino y aves.

1.5. Limitaciones de la investigación

Dada la naturaleza de la investigación, la bibliografía es un tanto escasa a nivel provincial.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo General

- Determinar la captura de carbono en dos sistemas de pastos mejorados en el distrito de San Silvestre de Cochán Provincia de San Miguel – Cajamarca.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar el carbono capturado por dos sistemas de pastos mejorados en el distrito de San Silvestre de Cochán Provincia de San Miguel – Cajamarca
- Calcular la captura de carbono en *Avena sativa* L (avena)
- Calcular la captura de carbono en *Lolium multiflorum* Lam (rye grass)

1.7. Hipótesis

Los sistemas de pastos de Avena *sativa* L (avena) capturan más carbono que en los sistemas de **Lolium multiflorum** Lam (rye grass); en el distrito de San Silvestre de Cochán Provincia de San Miguel - Cajamarca.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

Deza y col. (2010), en el departamento de Cajamarca estudió, la capacidad de dos especies de *Polylepis* (*P. multijuga* y *P. racemosa*), para capturar carbono, teniendo en cuenta, el tipo de ecosistema natural o establecido, las adaptaciones y evolución de cada especie, así como altitud y la zona de vida.

Esta investigación, se llevó a cabo en dos poblaciones de *Polylepis*; siendo la primera un bosque de *P. multijuga* Pliger, ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Chugur, caserío de Perlamayo Capilla en la parte alta del río Chamayo, en un área de 5 ha; la segunda fue un bosque de *P. racemosa* R. ubicada en el ámbito de Páramo Andino, departamento y provincia de Cajamarca, distrito de Chetilla, comunidad de Chirigpunta en la cabecera del río Chetillano, en un área de 4 ha.

La metodología utilizada por Deza, para determinar las reservas de carbono, fue mediante el método no extractivo a una área de 100 m², ubicándose en cuadrantes de 1*1 m en su interior para la evaluación de biomasa arbustiva y herbácea de 0,5 * 0,5 m para evaluar hojarasca y calcular el contenido de

carbono y CO₂, asumió que la fracción de carbono en la biomasa seca es de 0.5 relación carbono: biomasa.

Los resultados obtenidos por Deza y col. (2010), para la fijación de carbono total en el bosque de *P. multijuga* fue de 169,01 mg/ha provenientes del estrato arbóreo con 91,8 %; para el bosque de *P. racemosa* fue de 15.80 mg/ha con 23,9 % proveniente del estrato herbáceo nativo, para la plantación de *P. racemosa*; estas cifras son importantes al considerar la altitud de los ecosistemas (3 200 y 3 930), para el caso de bosque de *P. multijuga*, significa una cantidad elevada en comparación con las reservas de carbono de los ecosistemas ubicados en menor altitud.

El secuestro anual de CO₂ en la biomasa aérea de *P. racemosa* fue de 862, 37 k/ha⁻¹, con un crecimiento individual equivalente al de bosques con condiciones similares a la plantación de *P. multijuga*, pero con menor productividad por hectárea (aba=0,5 mg ha⁻¹) debido a la baja densidad de la población (115 árboles ha⁻¹).

El componente arbóreo que más contribuyó en la acumulación de biomasa aérea para *P. multijuga* fue de las ramas (61,1 %), y en los árboles jóvenes de *P. racemosa*, la biomasa estuvo constituida principalmente, por las hojas y ramillas (48,7 %) y las ramas (42,2 %).

Lapeyre (2004), determinó la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en la región de San Martín-Perú, con la finalidad de conocer el potencial de captura de carbono. Los sistemas de uso de la tierra evaluados fueron: bosque primario, bosque secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas locales maíz

(*Zea maíz*), arroz (*Oriza sativa*), pastos (*Brachiaria sp*) y sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) bajo sombra y cacao (*Theobroma cacao L*).

También comparó este potencial con otros sistemas de uso de la tierra de otras regiones del Perú y se monitoreó la pérdida de reservas de carbono después del corte de la foresta y su reemplazo por cultivos. En cada uno de éstos sistemas se establecieron al azar cinco transectos donde se evaluó la biomasa arbórea. Dentro de éstos transectos se establecieron cuadrados también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca, la metodología se basó en la determinación de la biomasa total mediante el uso de ecuaciones alométricas en los árboles y en la toma de muestras en forma disturbativa del sotobosque, cultivos, pastos etc. así como la hojarasca (Arévalo y col., 2003; Woomer et al., 2000).

Los resultados obtenidos por Lapeyre (2004), en carbono total en el bosque primario fue de 485 t C/ha, superando ampliamente las reservas del bosque secundario de 50 años y de bosque descremado de 20 años. Con relación al bosque primario se observó una reducción de reservas en más de 50 % del bosque secundario de 50 años que fue de 234 t C/ha. El bosque con bajo valor comercial de 20 años perdió más del 80 % de reservas con 62 t C/ha.

Asimismo, Lapeyre (2004), analizó que el nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Los sistemas agroforestales secuestraron entre 19 a 47 t C/ha, dependiendo de la cantidad de especies

forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo y recuperan el potencial de captura en forma productiva. Así mismo los sistemas agrícolas capturaron poco carbono con 5 t C/ha, además generan fugas de gases efecto invernadero cuando se usan agroquímicos y quema de rastrojos, entre otros.

Concha y col (2007), evaluaron la biomasa aérea en diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociada con especies forestales maderables, frutales e industriales, con el propósito de conocer el potencial de captura de carbono por cada sistema. El estudio se realizó en dos diferentes sitios ubicados en la región San Martín y provincias de San Martín y Mariscal Cáceres.

Los sistemas agroforestales estimados en la región San Martín presentaron edades de 5, 12 y 20 años, en cada sistema se establecieron aleatoriamente cinco cuadrantes de 100 m² cada uno, evaluándose la biomasa vegetal total existente. Para evaluar la ecuación alométrica del cacao se muestrearon 7 plantas cuyas edades variaron de 01 hasta 22 años.

Los resultados obtenidos por Concha y. col (2007), en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26,2 t C/ha para el sistema de pachiza de 5 años hasta 45,07 t C/ha del sistema agroforestal de pachiza de 12 años; así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12,09 t/ha hasta 35,5 t/ha, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t/ha hasta 9,97 t/ha; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos.

Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan el 66,7 % de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C/ha; mientras que los sistemas de 5 años se encontraron con reservas de carbono por debajo de los 30t C/ha. Los sistemas agroforestales de 5 años ubicados en Juanjui y Pachiza presentaron el mayor flujo de carbono anual, generando el mayor beneficio económico con créditos por CO₂ equivalente.

Palomino (2007), estimó el servicio ambiental de captura del CO₂ de las especie de flora predominante, siendo la “grama salada” *Paspalum vaginatum* Swartz, la “Salicornia” *Salicornia fruticosa* L y la especie de valor artesanal, la “totora” *Schoenoplectus californicus*, y el “junco” *Scirpus americanus*, donde se cuantificó la cantidad de carbono almacenado en estas especies características de los humedales y de esta manera la pérdida de estas reservas de carbono al quemarlos o cambiarlos de uso para fines agrícolas o urbanos.

Esta característica de capturar carbono se produce en la biomasa parte aérea, radicular y en el suelo. En cada una de estas especies se tomaron las muestras de flora y se establecieron cuadrantes también al azar para cuantificar la biomasa herbácea de los humedales de Puerto Viejo.

Zamora (2003), señala que al realizar una estimación del contenido de carbono almacenado en biomasa aérea, en el bosque de pino del ejido “La Majada” Municipio de Peribán – Michoacán, obtuvieron los resultados de la estimación de contenido de carbono del predio motivo de la investigación se consideró que tiene un valor significativo que el bosque ofrece a partir de una variedad de bienes y servicios; que se han aprovechado desde hace muchos años y que continuamente

se busca mejorar su aprovechamiento para llegar a un mejor manejo de nuestros recursos forestales.

Considerando los resultados de volumen por hectárea y volumen total, se realizó la estimación del contenido de carbono almacenado en biomasa aérea, se obtuvo que en el caso del género *Pinus* se tiene un almacén de 22,355 toneladas totales de carbono, para el género *Abies* que en este caso es el que mayor contenido de carbono almacenado tienen presenta 25,304 toneladas de carbono, en el caso del género *Quercus* se obtuvo un total de 1,292 toneladas de carbono y para otras hojosas hay 6,379 toneladas de carbono por hectárea.

Teniendo en cuenta los resultados de Zamora, se observó que el ejido “La Majada” tiene un total de 55,329 t C. En una superficie de 1,010 ha. Considerando los cuatro diferentes géneros existentes dentro de esta área. Una vez que se conocen estos datos se observó el gran impacto que tiene al aplicar un mal manejo a los bosques, la ambición y falta de conocimiento por eso es importante conocer toda una gama de bienes y servicios que otorga el recurso, no solo en productos maderables, que es lo que a veces o únicamente se conoce, sino que también beneficios como: ecológicos, socioculturales y económicos.

El secuestro de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo (Olguín, 2001).

El carbono cumple un papel fundamental en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono. Los procesos de captura y

emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono (vegetación aérea y radical- materia en descomposición- suelos- productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes y estrechamente interrelacionados.

En el suelo, el carbono está almacenado como parte de la materia orgánica y representa más de 1400 Gt (1Gt =10¹⁵ g), casi el doble del que hay en la atmósfera. De acuerdo al Intergovernmental Panel On Climate Change- IPCC. (1999) el suelo necesita ser medido en el sitio del proyecto hasta una profundidad de 30 cm, ya que el cambio de uso de la tierra tiene un mayor efecto en los estratos superiores.

Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra (Olguín, 2001).

En informes de la FAO (2002), se han analizado la distribución del total de las existencias de carbono del suelo según las principales zonas ecológicas. Tales zonas muestran grandes diferencias en el almacenamiento del carbono orgánico sobre todo en relación a la temperatura y a la lluvia. Las existencias de carbono en el suelo hasta un metro de profundidad varían entre 4 kg m⁻² en las zonas áridas y 21-24 kg m⁻² en las regiones polares o boreales, con valores intermedios de 8 a 10 kg m⁻² en las zonas tropicales.

Arias y. col (2001), en su estudio comenta que los sistemas agroforestales representan importantes sumideros de carbono; sin embargo, en Cuba no han sido considerados en este sentido debido fundamentalmente a la ausencia de información cuantificada sobre su potencialidad de almacenamiento y fijación. La investigación muestra los resultados comparativos de una finca con un pastizal natural y otra convertida en un sistema agroforestal, con 11 años de explotación. El carbono almacenado por el sistema silvopastoril fue mayor que el secuestrado en el sistema de pasto natural. El carbono forestal y el retenido en los pastos y en el suelo alcanzaron valores de 64, 38 y 24 t/ha, respectivamente. El sistema silvopastoril secuestró 126 t de carbono, a diferencia del sistema de pasto natural que solo alcanzó 32 t/ha en el año de evaluación. El sistema agroforestal superó sustancialmente al sistema de pasto natural, por su alta contribución ambiental y económica, cuyo valor se aproximó a los 1 300 dólares (USD) por año. Esta valoración económica es un elemento fundamental para lograr una utilización sostenible del ecosistema y, aunque no constituye el instrumento a tener presente para todas las decisiones, representa uno de los aspectos que intervienen en el proceso decisorio, junto con otras importantes consideraciones políticas, sociales y culturales. Los resultados confirman que los sistemas agroforestales son una alternativa para el desarrollo sostenible de los sistemas en el sector agropecuario.

Botero J. (1999), comparó la cantidad de carbono almacenado por las pasturas tropicales en el suelo encontrando resultados de 16 a 48 t/ha y las pasturas con base en gramíneas (Poaceaeas) mejoradas, encontrando que las ultimas secuestran más carbono en partes profundas del perfil del suelo, generalmente debajo de la capa arable con 10-15 cm. Esta característica hace que este carbono este menos expuesto a los procesos de oxidación y por tanto a su pérdida como gas

invernadero. Los depósitos de carbono en las zonas profundas del perfil, son debido a los procesos de naturalización de las especies introducidas, que permitieron el desarrollo de sistemas radicales profundos; lo cual contribuye a un aumento de la productividad primaria, capacidad de inmovilización de carbono y a la disminución del impacto del compactamiento del suelo por el pastoreo.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Diferentes escenarios de captura de carbono

Según Bolin et al. (1996), la vegetación terrestre a través de sus procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, y los océanos se consideran que conservan grandes cantidades de carbono. El FONAM (2006), menciona que los bosques, tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen un potencial de almacenamiento de carbono.

Márquez, L (2000), afirma que los ecosistemas terrestres juegan un papel importante en el ciclo global del carbono, en tanto el manejo forestal puede hacer una contribución sustancial a controlar los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. Otras actividades de uso de la tierra y bosques que pueden contribuir son: la conservación de bosques en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, forestación, reforestación o promoción de la agroforestería. En el sector de uso de la tierra y bosques se han identificado estrategias principales para acumular el carbono: La primera es aumentar la fijación de carbono al crear o mejorar los sumideros; y la segunda es prevenir o reducir la tasa de liberación del carbono ya fijado en sumideros existentes. Estas estrategias se denominan fijación

de carbono y no emisión de carbono. Así mismo las actividades de fijación incluyen tratamientos silviculturales para aumentar el crecimiento, agroforestería, forestación, reforestación y restauración de áreas degradadas; la no emisión incluye actividades de conservación de biomasa y suelo en áreas protegidas, manejo forestal sostenible, protección contra fuegos y promoción de quemadas controladas.

Además, el IPCC (2001), estima que a nivel mundial, la retención de carbono derivada de la forestación, la regeneración forestal, el incremento de las plantaciones y el desarrollo de la agro silvicultura entre 1995 y 2050 será entre el 12 y el 15 % de las emisiones de carbono originadas por los combustibles fósiles en el mismo periodo.

2.2.2. El carbono en ecosistemas forestales tropicales

2.2.2.1. Aspectos generales

a. Secuestro de carbono

Arévalo y col. (2003), afirman que secuestro de carbono es el proceso de fijación de carbono en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación; estas intervenciones pueden ser programas de manejo de suelos con reforestación, agroforestería o conservación de suelos. Las cantidades fijadas de carbono se expresan en t C/ha/año.

b. Carbono almacenado

La cantidad de carbono almacenado se relaciona con la capacidad del bosque de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad y está determinado por las condiciones del suelo y clima. Así mismo Márquez, T (2005), menciona que el carbono se encuentra almacenado desde que el tiempo en que este se encuentre constituyendo alguna estructura del árbol y sea remitido al suelo o a la atmósfera.

Loguercio (2005) y Depledge (2002), afirman que la vegetación, en particular los bosques, almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa como en el tronco, ramas, corteza, hojas y raíces y en el suelo mediante su aporte orgánico. Además, Márquez, L (2000), menciona que los ecosistemas forestales almacenan carbono en cuatro fuentes: biomasa arriba del suelo, biomasa abajo del suelo, hojarasca, otra materia vegetal muerta y en el suelo.

c. Sumideros de carbono

Es la extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros como los océanos, los bosques o la tierra; a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis (Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2006). Un sumidero de carbono, es aquel que elimina el carbono de la atmósfera, tal como sucede con las plantas verdes que absorben CO_2 durante el proceso de fotosíntesis y compensan la pérdida de este gas a través de la respiración, así como la liberación de emisiones resultado de otros procesos naturales como la descomposición de materia orgánica. Asimismo, Bolin et al. (1996) definen a los sumideros de

carbono, como aquellos que eliminan de la atmósfera tanto carbono como el que aportan en forma natural.

2.2.3. El carbono en los sistemas agroforestales

Sánchez et al. (1999), manifiestan que la tasa de absorción de carbono en los sistemas agroforestales, puede ser muy alta ya que la captura de carbono se efectúa tanto por los árboles como por los cultivos: de 2 a 9 t C/ha, dependiendo de la duración de 15 a 40 años. Schroeder (1994), menciona que en las áreas tropicales, se puede obtener un almacenamiento de 21 a 50 t C/ha en zonas subhúmedas y húmedas respectivamente. Las raíces por si solas podrían incrementar esos valores en 10 %.

La conversión de tierras de cultivos improductivas con bajos niveles de materia orgánica y nutrientes en sistemas agroforestales podrían triplicar las existencias de carbono, de 23 a 70 t C/ha en un período de 25 años. Por otro lado, la incorporación de cultivos con cobertura viva resultan ser efectivos; donde el valor de captura de carbono, depende de la cantidad y del tipo de cobertura de 1 a 6 t C/ha, en este caso, hay materia orgánica tanto por encima como por debajo del suelo, ya que además se agrega la proporcionada por las raíces (Language Centres - LAL, 1999). Bajo las condiciones de labranza convencional, la pérdida de carbono será considerable al 40 a 50 % en unas pocas docenas de años, con un alto nivel de liberación del mismo durante los primeros cinco años (FAO, 2000). Si se establecen pasturas, las pérdidas son mucho menores y es probable que en pocos años haya una cierta recuperación de carbono gracias a la materia orgánica de los pastos (De Morales y col. 1996). Sin embargo, en los sistemas agrícolas o

ganaderos, los sumideros de carbono en el suelo son considerablemente pequeños, mientras que en sistemas agroforestales aumenta. Los sumideros superficiales de carbono en sistemas agroforestales son similares a aquellos encontrados en bosques secundarios (Brown y Lugo, 1992).

2.2.4. Fuentes de Captura de carbono

Según el IPCC (2000), las fuentes y sumideros de Gases Efecto Invernadero, se clasifican en siete categorías: Energía, procesos industriales, uso de solventes, agricultura, cambio en el uso del suelo y actividades forestales, residuos y otros.

El carbono en forma de CO₂ se mueve a través de la atmósfera, los océanos y la biosfera. Los depósitos se dividen en fuentes y sumideros; los primeros vierten carbono a la atmósfera y los segundos lo absorben. Los océanos contienen cerca de cincuenta veces más carbono que la atmósfera, predominante en forma de carbono inorgánico disuelto. La vegetación y los suelos contienen aproximadamente tres veces y medio más carbono que la atmósfera, sin embargo, la cantidad de carbono almacenado globalmente en los suelos es mucho mayor que en la vegetación. A diferencia del sector energético, donde se tiene definidos las fuentes de gases efecto invernadero; el sector de cambio de uso de las actividades forestales, presenta una ambigüedad en el sentido de que las mismas fuentes cumplen con un el papel de sumideros; es decir, las plantas, el océano y el suelo puede tanto liberar como absorber CO₂ (Santa Cruz, 2004).

2.2.5. Captura de carbono

2.2.5.1. Captura de Carbono en el suelo

Se interrelaciona con los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono. Los procesos de captura y emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono vegetación aérea y radical, materia en descomposición y suelos productos forestales con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes y estrechamente interrelacionados. Olguín (2001), así como los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados por el cambio en el uso y el manejo de la tierra (Oliva y García, 1998).

En informes de la FAO (2000), se han analizado la distribución del total de las existencias de carbono del suelo según las principales zonas ecológicas que muestran grandes diferencias en el almacenamiento del carbono orgánico sobre todo en relación a la temperatura y a la lluvia. Las existencias de carbono en el suelo hasta un metro de profundidad varían entre 4 kg m^{-2} en las zonas áridas y $21\text{-}24 \text{ kg m}^{-2}$ en las regiones polares o boreales, con valores intermedios de 8 a 10 kg m^{-2} en las zonas tropicales.

Las tierras de pastoreo, según la FAO 2000, ocupan 3.200 millones de ha y almacenan entre 200 y 420 gramos de fósforo en el ecosistema total, una gran parte del mismo debajo de la superficie y por tanto, en un estado relativamente estable, el carbono del suelo en las tierras de pastoreo es estimado en 70 t/ha, cifra

similar a las cantidades almacenadas en los suelos forestales (Trumbmore y col., 1995).

2.2.5.2. Captura de Carbono en la biomasa arbórea

El almacenamiento de carbono en árboles, es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y se suma así a posibles beneficios para el productor que adopta estos sistemas alternativos, beneficios hídricos en relación con el incremento productivo de pastizal y bosque, y beneficios al nivel de fijación de carbono por medio de “bonos verdes” o “de carbono” o su equivalente en impuestos, etc. IPCC, 2000. En las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para biomasa aérea se asume generalmente el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50 % sin diferenciar especies (Brown y Lugo, 1992; IPCC, 2000).

2.2.6. El ciclo del carbono

Ordoñez (1999) menciona que, este ciclo gira especialmente alrededor del bióxido de carbono, ya que constituye la especie química predominante en la atmósfera; Este ciclo funciona básicamente a través de la fotosíntesis, la respiración, las emisiones de gases por quema de combustibles fósiles y fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, así mismo afirma que, el ciclo del carbono es el responsable de la cantidad de CO₂ contenido en la atmósfera, ya que es el mecanismo que equilibra las cantidades de carbono presentes en los diferentes reservorios o almacenes de carbono en el planeta. Como consecuencia se establece todo un balance de carbono a través de procesos fijadores o almacenadores de carbono y otros que a su vez lo emiten.

Oliva y García (1998), mencionan que la incorporación de carbono en el ciclo biológico se da por medio de la fotosíntesis que produce energía bioquímica para los procesos fisiológicos y de formación de materia biológica como la biomasa a partir del CO₂, es tomado directamente de la atmósfera y su asimilación por la planta es conocida como fotosíntesis gruesa. Pero no todo el CO₂ asimilado es transformado a biomasa, sino que una parte es regresada a la atmósfera por medio de la respiración que se lleva a cabo durante los procesos fisiológicos.

2.2.6.1. Papel de los suelos en el ciclo del carbono

El suelo almacena cantidades considerables de carbono; las prácticas que promueven un aumento del carbono orgánico en el suelo también pueden tener un efecto positivo de fijación de carbono (Márquez, L. 2000).

Catriona (1998), manifiesta que en los bosques tropicales los sumideros de carbono en el suelo varían entre 60 y 115 t C/ha. El IPCC (2000), indica que el carbono del suelo por si solo representa más que el carbono de la biomasa forestal. Tales proporciones de carbono en el suelo dependen de la zona climática; con el máximo de carbono del suelo en las áreas frías boreales y templadas, y mínimo en las áreas tropicales (IPCC, 2000; Márquez, L. 2000 y FONAM, 2006); la causa principal de esta diferencia es la influencia de la temperatura en los índices relativos de producción y descomposición de la materia orgánica (FAO, 2000).

Los bosques cubren el 29 % de la tierra y contienen el 60 % del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36 % del total a un metro de profundidad. Dupouey et al. (1999), mencionan que en bosques la media total del carbono del ecosistema es de 137 t C/ha; de este

total, el suelo representa el 51 % con 71 t C/ha, los restos vegetales superficiales 6 % y las raíces 6 %. Estos datos son muy cercanos a los proporcionados por el IPCC (2000); para los bosques en Tennessee (Estados Unidos de América); mientras que en bosques tropicales cerca de Manaos (Brasil), se determinó que el total de carbono es 447 t C/ha, donde el depósito de carbono en el suelo orgánico es de 162 t C/ha representado al 36 % del total.

En los bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es afectado. Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de ha, sobre todo en los trópicos y que muy a menudo parte del carbono orgánico se pierde dando lugar a una considerable emisión de CO₂. Por lo tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de carbono. La reforestación, sobre todo en los suelos degradados con bajo contenido de materia orgánica, será una forma importante de secuestro de carbono a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo (FAO, 2000).

El carbono del suelo en pasturas es estimado en 70 t C/ha, cifra similar a las cantidades almacenadas en los suelos forestales; por lo que muchas áreas de tierras de pastoreo en las zonas tropicales y áridas, ofrecen variadas posibilidades de secuestro de carbono (Trumbmore et al., 1995)

2.2.6.2. Función de los bosques en el ciclo global del carbono

A través de la fotosíntesis, los árboles en crecimiento despiden oxígeno y consumen agua, luz y CO₂ por ello, los bosques en expansión son calificados de “sumideros de carbono”: absorben gas carbónico, cuando dejan de crecer, los árboles ya no son sumideros, sino receptáculos de carbono: almacenan enormes cantidades de este elemento, en la superficie y en los suelos, pero cumplen un papel neutro en el balance final de CO₂.

Por último, cuando se queman, los bosques despiden gas carbónico y se convierten así en fuentes de carbono. El gas carbónico que se desprende cuando los árboles viejos se descomponen se compensa con el que absorben los jóvenes que crecen en su lugar (Boukhari, 2000). El IPCC (2001) afirma que los bosques, resultan un sumidero de carbono durante los próximos cien años, que podrían reducir de 20 a 50 % de las emisiones netas de CO₂ en la atmósfera.

Loguercio (2005), menciona que a través del manejo silvicultural de los bosques nativos existentes, y por la creación de nuevos bosques mediante forestaciones y reforestaciones en áreas donde no existen árboles, se contribuiría a almacenar grandes cantidades de carbono en la biomasa y el suelo, utilizando con ello su potencial para mitigar los cambios del clima.

Catriona (1998), indica que en los trópicos el carbono en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 t C/ha en bosques primarios, y entre 25 y 190 t C/ha en bosques secundarios.

El IPCC (2001), menciona que los distintos tipos de vegetación natural y plantaciones forestales pueden capturar carbono entre 4,79 y 1,65 t C/ha año⁻¹. Los bosques naturales pueden ser considerados en equilibrio dinámico en relación al carbono bajo ciertas condiciones climáticas y para ciertas concentraciones atmosféricas de CO₂ (FAO, 2000).

2.2.7. Fijación de bióxido de carbono

Montoya (2000), afirma que a través de la fotosíntesis, la vegetación asimila CO₂ atmosférico, forma carbohidratos y gana volumen. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90 % del flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra.

Así mismo Montoya (2000) y Ordoñez, (1999), describen que, con el manejo forestal es posible compensar las crecientes emisiones de CO₂ en dos formas.

- a) Creando nuevos reservorios de bióxido de carbono, restaurando las áreas degradadas por medio de plantaciones y/o regeneración natural, y por la extracción de madera. En ambos casos se pretende almacenar el carbono a través del crecimiento de árboles que al extraer la madera se convierta en productos durables manteniéndose el carbono acumulado durante la vida útil del producto. Al extraer la madera, la regeneración actuará almacenando carbono por el crecimiento. Los sistemas forestales y agroforestales pueden

capturar en sus diferentes almacenes de 80 a 350 toneladas de carbono por hectárea.

b) Protección de bosques y suelos. Con la destrucción del bosque se pueden liberar a la atmósfera de 50 a 400 t/ha.

2.2.8. La fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso metabólico fundamental para todos los organismos vivos verdes ya que consiste en el empleo de la energía luminosa para biosintetizar los componentes celulares. La energía solar constituye no solamente la fuente energética para las plantas verdes y otros autótrofos fotosintéticos, sino también, en último término, la fuente energética para casi todos los organismos heterótrofos, mediante la actuación de las cadenas alimenticias de la biosfera. Además, la energía solar capturada por el proceso de fotosíntesis es la fuente de cerca del 90 % de toda la energía empleada por el hombre para satisfacer las demandas de calor, de luz y de potencia, ya que el carbón, el petróleo y el gas natural, que son los combustibles utilizados para la mayor parte de la maquinaria fabricada por el hombre, son productos de descomposición del material biológico generado hace millones de años por los organismos fotosintéticos (Candela; 2004).

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos fases: la lumínica, en la que se utiliza la energía de la luz para sintetizar ATP y NADPH, y la fijadora de carbono, que utiliza los productos de la primera etapa para la producción de azúcares. La primera fase es un proceso que depende de la luz como las reacciones luminosas o las reacciones de luz, esta fase requiere la energía directa de la luz para generar energía química y reductora que serán utilizadas en la segunda fase. La fase

independiente de la luz o fase de oscuridad, se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados a partir del CO_2 para formar enlaces covalentes carbono de los carbohidratos mediante el Ciclo de Calvin. Este proceso de la fotosíntesis se produce en los cloroplastos de las células (Sofo et al., 2005).

Según Candela (2004), menciona que la fotosíntesis es importante por lo siguiente:

- Depura la atmósfera, al consumir CO_2 y desprender O_2 ,
- Responsable de la aparición y mantenimiento del O_2 atmosférico
- La acumulación del O_2 atmosférico dio lugar a la formación de la capa de ozono que protege a los seres vivos de las radiaciones ultravioleta de longitud de onda corta y favoreció la expansión de los seres vivos sobre los continentes.
- Responsable de la transformación de materia inorgánica en orgánica que se utiliza.
- Responsable del mantenimiento de la vida en el planeta.

2.2.8.1. Eficiencia Fotosintética en las Plantas

La eficacia fotosintética de una planta completa, está condicionada por muchos factores como estructura de la planta, tamaño y crecimiento de las hojas, tamaño y densidad de las estomas, tasa de absorción de CO_2 por dm^2 de hoja, tasa de fotorespiración, etc. Por ello, los intentos de mejora en este sentido se han realizado por múltiples vías (Candela.2004).

La eficiencia fotosintética en las plantas de avena, rye grass, maíz, caña de azúcar, sorgo, remolacha azucarera, etc. es alta, porque en ellas el mecanismo de

fijación del CO₂ y su posterior reducción en moléculas orgánicas involucra una vía diferente con otra Carboxilasa distinta a la Rudp, en estas plantas, el CO₂ no se fija directamente por la Rudp, sino lo hace por una carboxilasa distinta llamada "Fosfoenolpirúvico carboxilasa", en las células del Mesófilo, en síntesis, las plantas de C3 utilizan una sola carboxilasa (Ribulosa1,5 di fosfato carboxilasa), en cambio, en las plantas de C3 y 4, las 2 enzimas carboxilasas(Fosfoenolpirúvico y Ribulosa1,5 di fosfato carboxilasa) trabajan en toda su potencia a pesar de que el CO₂ atmosférico llega en bajas concentraciones, en las plantas de C3 la concentración de CO₂ es de 20 a 40 mg de CO₂ x dm² de superficie foliar por hora, en cambio, en las plantas de C3 y C4, es de 50 a 80 mg de CO₂ x dm² de superficie foliar x hora, es decir, la función específica de la fosfoenolpirúvico carboxilasa es aumentar las concentraciones de CO₂ para que la Rudp trabaje en toda su potencia (Black; 1986).

2.2.9. Flujos y almacenes de carbono en ecosistemas forestales y silvopastoriles

Ordóñez (1999), en efecto los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son almacenes de carbono, mismos que se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal.

Oliva y García (1998), describen que la incorporación de carbono al suelo en los ecosistemas naturales se da por dos vías principales: por la capa superficial de materia vegetal y por la biomasa radicular que la velocidad de la descomposición de este material depende de las poblaciones microbianas del suelo y de las

características del material vegetal, este llega al suelo cuando son descompuestas por las formas más sencillas en energía y carbohidratos, aumentando la actividad microbiana y posteriormente serán degradados los compuestos más complejos con una menor velocidad por la actividad microbiana.

El uso y la adaptación de prácticas agroforestales en la crianza de animales en pastoreo ha mostrado ser útil tanto para aumentar la producción pecuaria como para brindar servicios, como la fijación de carbono en los suelos y la vegetación, incrementar la biodiversidad y ayudar a conservar las fuentes de agua (Giraldo; 2000).

2.2.10. Efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del sol; como resultado del efecto invernadero, la tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para hacer posible la vida sobre el planeta (Centro Hadley, 2002).

Batet y Rovira (2002), manifiestan que la atmósfera recibe la radiación procedente del sol y emite longitudes de onda diferentes: radiación ultravioleta es absorbida, en parte, por el ozono estratosférico antes de que llegue a la superficie terrestre. La radiación visible que pasa a través de la atmósfera y recibimos en la superficie terrestre como luz, y la radiación infrarroja que cruza la atmósfera y recibimos en forma de calor y los rayos infrarrojos son absorbidos principalmente por el CO₂ y el vapor de agua de la atmósfera. De la radiación que llega a la superficie terrestre, una parte se retiene y la otra se reemite a la atmósfera en forma de calor este es

captado de nuevo, por el CO₂ y el vapor de agua atmosférico, generando el denominado efecto invernadero.

El efecto invernadero se debe a que ciertos gases en la atmósfera permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras que se absorbe y reemite parte de la radiación infrarroja que el planeta regresa al espacio exterior. Cuanto mayor es la concentración de los gases de invernadero, menor es la cantidad de radiación infrarroja que el planeta remite libremente al espacio exterior. De esta manera, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del planeta (Ordóñez, 1999).

EL bióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero, otros gases con concentraciones menores producen el mismo efecto con diversas intensidades, tales como metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorocarbonos (CFC) y ozono (O₃); muchos de estos gases tienen tiempos de vida (residencia atmosférica) que van desde décadas hasta centenares de años, por lo que los cambios en las concentraciones de la atmósfera se manifiestan lentamente como respuesta a los que se dan en las tasas de emisión (IPCC, 1990).

Castellanos y Col. (1991), afirman que el carbono fijado por las plantas se transforma en moléculas móviles, que se asignan a las diferentes estructuras de la planta para satisfacer sus demandas fisiológicas y estructurales. Esta asignación determina las rutas por las cuales se dará posteriormente el flujo de carbono al suelo y cada especie de planta asignará más o menos carbono para producir

biomasa en la parte aérea o en la parte subterránea. Por ejemplo, la biomasa subterránea en la selva estacional representa entre 40 y 50 % de la biomasa total, mientras que en el bosque templado y la selva húmeda, la biomasa subterránea representa menos del 15 %.

2.2.11. El cambio climático

2.2.11.1. Definición

Es el cambio observado en el clima a escala global, regional o subregional, causados por procesos naturales y/o actividad humana (INDECI, 2006). Por otro lado, Héller y Shukla (2003) definen el cambio climático como la variación global del clima de la tierra, debido a causas naturales y a la acción del hombre, se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobretodos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, entre otros. La acción humana está representada por la emisión de volúmenes crecientes de gases de efecto invernadero, que aumentan la capacidad de retención de radiación solar de la atmósfera.

2.2.11.2. Causas del cambio climático

A fines de la década de los 70, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y luego la Sociedad Mundial de Meteorología (SMM), alertan sobre drásticas variaciones climáticas, las que serían consecuencia de la gradual y creciente acumulación de gases efecto invernadero en la atmósfera, provenientes de la actividad industrial y deforestación masiva (IPCC, 2001). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización

Meteorológica Mundial crearon el IPCC, el cual señaló en el tercer informe de valoración del año 2001, que el aumento de la temperatura de la tierra durante los últimos 50 años es consecuencia de las actividades humanas.

Batet y Rovira (2002) y Loguercio (2005), afirman que la principal causa del cambio climático global es la emisión de gases provenientes de la combustión de fuentes de energía fósil como el petróleo, carbón, gas, entre otros que desde el inicio de la era industrial en 1850, donde las emisiones antropogénicas han aumentado considerablemente la concentración de CO₂ en el aire. Hoy en día, los combustibles fósiles son la principal fuente energética y aportan el 80% de la energía consumida en el mundo, siendo el balance anual neto de emisiones a la atmósfera de 3000 millones de toneladas/año, considerando las absorciones por los sumideros naturales tal como los bosques, otra vegetación y mares, y las emisiones por las fuentes de CO₂. Por otro lado, Depledge (2002), menciona que la temperatura del planeta aumentó en aproximadamente 0,6 °C durante el siglo XX, desde 1861, la década más caliente ha sido la de los años noventa, y el año más caluroso fue 1998; esta tendencia se ha atribuido a la acumulación de CO₂ y de otros gases en la atmósfera, derivados de la actividad humana. Donde la concentración media de CO₂ se ha incrementado desde 275 ppm antes de la revolución industrial, hasta 361 ppm.

Del mismo modo, los países en vías de desarrollo también tienen su responsabilidad en las emisiones de gases efecto invernadero en menor medida, sobre todo por la quema y cambios de uso de la tierra en los bosques tropicales, donde se envían al aire grandes cantidades de CO₂ así como por el cada vez mayor uso de energía fósil como producto del aumento de la población y del crecimiento

económico; la causa fundamental de este incremento es la emisión de estos gases como CO₂, N₂O, CFC, CH₄, provocados por actividades humanas (antropogénicas) que alteran la composición original de la atmósfera (Loguercio, 2005).

Castro (2005), afirma que la deforestación, es uno de los focos rojos del panorama ambiental global, puesto que, aumenta las emisiones de carbono hacia la atmósfera y contribuye a su calentamiento. Asimismo, Vidal (2012) menciona que la deforestación es una de las principales causas del cambio climático, al generar hasta el 25 % de las emisiones mundiales de gases efecto invernadero, sólo superada por el sector energético, pero muy por encima del efecto del transporte (14 %), la industria (14 %) y la aviación (3 %).

2.2.11.3. Consecuencias del cambio climático

El impacto potencial del cambio climático es enorme, con predicciones de falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones para la producción de alimentos y un aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. Por lo que, el cambio climático no es un fenómeno sólo ambiental sino de profundas consecuencias económicas y sociales. Los países más pobres, que no están preparados para enfrentar cambios rápidos, serán los que sufrirán las peores consecuencias (GCCIP, 1997).

Asimismo, Loguercio (2005) afirma que el aumento de la temperatura ha provocado cambios en los procesos físico - meteorológicos y medioambientales, responsables de que ocurran inundaciones y sequías profundas en algunas

regiones, así como una mayor ocurrencia de tornados, huracanes, entre otros. Todos con sus consecuencias negativas, tanto biológicas como económicas y sociales.

IPCC (2001), estima que el incremento en la temperatura en los últimos 100 años ha causado una reducción de las capas de hielo polares, con un aumento del nivel de los océanos de entre 10 a 25 cm. En los próximos 100 años, las zonas costeras se verán en peligro al subir el nivel promedio del mar por 50 cm ó más. Muchas áreas serán inundadas y se volverán salinas, como son los deltas de los ríos bajo uso agrícola, y los estuarios que son el hábitat de importante vida animal y vegetal, tornándolos inadecuados para estos usos. Las temperaturas más cálidas de los océanos también tendrán un impacto en la vida marina, afectando su cantidad y distribución. En las latitudes más altas, la temperatura promedio anual está subiendo a un ritmo dos veces mayor que el promedio global, lo que ocasionará descongelamiento de la capa Permafrost (la capa de tierra que permanecía siempre congelada), y que tendrá un impacto drástico en la vida vegetal y animal.

2.2.11.4. Medidas de mitigación

En cuanto a la mitigación, el término es empleado para referirse a las medidas que pueden tomarse antes que el desastre ocurra, con el fin de reducir sus efectos, incluyendo la preparación de las medidas de reducción de riesgo a largo plazo. Es importante aclarar que la mitigación hace referencia a esa que sea la intervención antropogénica para reducir las emisiones netas de GEI o mediante la reducción del uso de combustibles fósiles, la reducción de emisiones provenientes de las zonas terrestres mediante la conservación de grandes yacimientos dentro de los

ecosistemas y/o el aumento del régimen de recogida de carbono por parte de los ecosistemas (IPCC, 2002).

Loguercio (2005), afirma que para enfrentar el cambio climático se debe disminuir las emisiones industriales y domésticas de CO₂ a través de la incorporación de tecnologías menos contaminantes o cambios hacia fuentes de energías limpias y renovables (eólica, solar, etc); para ello se requieren transformaciones profundas, las cuales los países industriales (mayores responsables de las emisiones presentes y pasadas) están dispuestos y obligados a realizar por su responsabilidad histórica.

Batet y Rovira (2002), mencionan que en el campo del transporte, muchos científicos creen que el combustible del futuro será el H₂, este gas no contamina y su uso genera vapor de agua; otros combustibles alternativos son los biocombustibles. Por otro lado, el IPCC (2001), plantea que el desarrollo económico de los países subdesarrollados no debería seguir el modelo aplicado por los países industrializados, a costa de los recursos naturales y el clima, sino bajo formas que contemplen un uso más eficiente de la energía y menos contaminante, lo que se denomina el desarrollo sostenible.

Castro (2005), comenta que la mitigación del calentamiento global podría representar alrededor del 2 % del PBI mundial. Ante tal cifra resulta apremiante buscar opciones para reducir costos, estudios sugieren que hay un camino para lograrlo la captura de carbono a través de los bosques. Además, si se reduce la deforestación y se preservan los bosques naturales o se incrementa la siembra de árboles, se puede reducir tales emisiones. Existen tres categorías amplias de intervenciones en el área forestal que ayudarían a estabilizar la emisión de gases

efecto invernadero: mejorando la gestión de los recursos forestales existentes, aumentando la cobertura forestal y reemplazando los combustibles fósiles con biocombustibles. Estas categorías podrían traer valiosas contribuciones ambientales y socio - económicas a los países que las adopten (Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, 2005).

2.2.11.4.1. Alternativas de mitigación

Según el IPCC (2007), la sociedad puede adecuarse al cambio climático y sus impactos por medio de alternativas de mitigación. Las medidas propuestas son de diversa índole y van encaminadas a la protección de los bienes, los recursos naturales y la vida humana. Una de las alternativas de mitigación que mayor impacto positivo podría tener y que ha sido adoptada por algunos países, consiste en disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente provenientes de las actividades productivas. Adjunta a esta se ha promovido la reforestación y conservación de los bosques, selvas y humedales por su importante papel en la captura y almacenamiento de carbono atmosférico; La conservación y restauración de ecosistemas que brindan servicio de protección ante eventos climáticos es una de las estrategias de mitigación encaminadas a la reducción de la vulnerabilidad y que además contribuye a la captura de carbono. Según el PNUMA, (2009) cerca del 20% del carbono liberado a la atmósfera proviene de ecosistemas deforestados (quema y clareo). Por ello, el conservar estos ecosistemas podría reducir significativamente los gases de efecto invernadero en la tierra. Los bosques, los humedales y las selvas son los principales sistemas que funcionan como sumidero de carbono además de proveer bienes materiales y servicios de protección. Las alternativas propuestas son mantener el carbono

atrapado en estos sistemas por medio de la conservación para bosques, selvas y humedales.

Según Zamora (2013), menciona que una de las alternativas que permiten reducir las emisiones de los gases de CO₂ en una finca o zona andina ganadera son los sumideros de carbono que son depósitos naturales o artificiales que absorben carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO₂ del aire. Los bosques y las plantas y en general las formaciones vegetales, actúan como sumideros a través de su función vital principal: la fotosíntesis. Mediante este proceso los vegetales captan CO₂ de la atmósfera o el que se encuentra disuelto en el agua y, con la ayuda de la luz solar, lo utilizan en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares que acumulan en la biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico). Del mismo modo existen algunos sumideros de carbono como cercas vivas que son barreras formadas por hileras de árboles o arbustos, en forma densa, que están vivos, en lugar de postes muertos o de postes de cemento. Su uso es variado pero generalmente sirven a los agricultores que necesitan delimitar sus terrenos, se usan para proteger los cultivos de los animales, sirven de cortinas rompe vientos y dan soporte a enredaderas de uso comercial. Las hojas de algunos árboles que se utilizan como cercas vivas pueden ser usadas como alimento para animales, las especies que se pueden utilizar para implementar una cerca son chilca, acacia, sauce aliso.

Según Ramírez (2012), en su estudio menciona que existen algunas alternativas para mitigar las emisiones del dióxido de carbono, entre ellas tenemos: Fijación de carbono por medio de actividades forestales, medios de transporte más eficientes, obtención de bienes o servicios con menor gasto de energía también llamado

eficiencia energética, ahorros de energía, por ejemplo aislamiento térmico de edificios y de uso adecuado de la electricidad, promoción de energías de bajo impacto ambiental como la eólica, la solar térmica, entre otras, medidas económicas a través de la incorporación de impuestos ambientales.

Según Maserá (2007), comenta que en el sector forestal existen tres opciones o alternativas básicas de mitigación de carbono en el sector forestal siendo la conservación, reforestación y forestación así como sustitución.

a) La conservación. Consiste en evitar las emisiones de carbono preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña, y/o reduciendo la ocurrencia de incendios. EL manejo de las áreas naturales protegidas y los bosques naturales son una de las mejores opciones para la captación de carbono, ofreciendo de manera simultánea una alternativa para incrementar la producción tanto maderable como no maderable, el establecimiento de bancos de germoplasma y conservación de suelos, así como para cuidar la biodiversidad del país. Dentro de la conservación se incluyen la conservar adecuadamente las áreas naturales protegidas existentes y crear nuevas, el manejo de bosques naturales, el uso de estufas de uso eficiente de leña, la protección de los bosques, para evitar los incendios forestales.

b) La reforestación y forestación. Esta opción consiste en recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia, el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, etc., así como de plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de sistemas agroforestales, esta es una de las opciones de regeneración de la cobertura vegetal del país, ya que permite proteger cuencas y recuperar áreas que por alguna razón

perdieron la cubierta vegetal, evitando también la erosión de suelos en esta alternativa también se considera la restauración forestal para fines de subsistencia, como el caso de la leña en comunidades rurales. Con esta opción lo que se logra es incrementar la cantidad de carbono almacenado en la vegetación (en la biomasa aérea y la que se halla por debajo del suelo), en el suelo (madera muerta, hojarasca, turba y suelo mineral) y en los productos de madera con tiempos de vida larga. Incrementar el contenido de carbono en la vegetación y en el suelo puede lograrse mediante la protección de los bosques secundarios y otro tipo de bosques degradados en donde la densidad de carbono en la biomasa y en el suelo sean menores a su valor máximo, permitiendo que estos secuestren más carbono al promover la regeneración natural o artificial y el enriquecimiento del suelo. Otros métodos podrían ser: establecer plantaciones en tierras deforestadas; promover la regeneración de los bosques secundarios, seguidos de un programa de protección; o incrementar la cubierta vegetal en áreas donde se practica la agricultura y en los **pastizales** (agroforestería). Este último con el objetivo de proteger el ambiente y mejorar las condiciones económicas de los habitantes de la zona en donde se apliquen los programas.

c) La sustitución. Esta opción consiste en sustituir los productos industriales por aquellos hechos de madera; es decir, ahorrar energía para producir estos productos industriales y por la sustitución de combustibles fósiles por combustibles renovables, como leña, carbón vegetal y biogás.

En su estudio Masera (2007), describe que otra de las alternativas de mitigación es la **selección de los reservorios de carbono**: Las características que deben de ser tomadas en cuenta para elegir esta alternativa propuesta es: el tipo de proyecto, el

tamaño del reservorio, la tasa de cambio, la dirección de ese cambio, los métodos disponibles para realizar las mediciones; el costo de las mismas y la exactitud y precisión que se desea obtener; Este último es importante porque tan solo los reservorios de los cuales se obtengan mediciones podrán ser incluidos en el cálculo de los beneficios que las opciones de mitigación tengan en la reducción de los gases de efecto invernadero y además sólo las estimaciones más bajas del intervalo de confianza.

Los reservorios de carbono más importantes en los ecosistemas forestales son: la biomasa viva, la biomasa muerta, el suelo y los productos de madera, y cada uno de estos puede a su vez ser dividido en más componentes, por ejemplo, la biomasa viva puede incluir: hojas, pequeñas ramas, ramas más grandes, troncos, raíces gruesas y finas, plantas herbáceas, arbustos y enredaderas. Se muestra la importancia de medir los diferentes reservorios de carbono en varios tipos de uso de suelo y en algunos proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero. Cabe señalar que los reservorios que están sujetos a un decaimiento por el manejo propuesto, tienen que ser medidos siempre. Por ejemplo, en áreas inundadas con mucha acumulación de biomasa (pantanos), se puede esperar una baja del manto freático, que puede causar una aceleración de la descomposición de la materia orgánica. Otro ejemplo sería cuando se realizan trabajos de preparación del suelo para las plantaciones ya que esto puede causar una descomposición de los agregados de suelo, que a la vez puede acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Así mismo otras alternativas de mitigación de gases efecto invernadero a tomar en cuenta son los **acuerdos y mecanismos de financiamiento** para implementación de los proyectos de mitigación forestales y agrícolas propuestos durante la tercera

conferencia de las partes organizada por la UNFCC (United Nations Framework on the Climatic Change o Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) y llevada a cabo en Kyoto, Japón en el mes de diciembre de 1997. Estos mecanismos, permitirán a los países alcanzar sus compromisos en la reducción de emisiones de manera efectiva y eficiente a través de la realización y financiamiento de proyectos. Los nuevos mecanismos incluyen el comercio internacional de créditos de reducción de emisiones (ER), proyectos de implementación conjunta (IC) y el mecanismo de desarrollo limpio (MDL). Es importante mencionar que con la implementación de este tipo de proyectos se producen beneficios para los países participantes y para la comunidad internacional en su conjunto.

2.2.12. Sistemas Pastoriles

El carbono en los pastos, poseen un ciclo continuo de iniciación, crecimiento y muerte de unidades individuales (tallos aéreos, rizomas o estolones en gramíneas, ramas y raíces en leguminosas), las cuales generan materia orgánica (Fisher y Trujillo, 2000).

Según el informe 2010 de la FAO, los pastos y las tierras de pastoreo representan un sumidero de carbono que podría superar al que ofrecen los bosques, si se utiliza adecuadamente.

El dióxido de carbono es incorporado en los sistemas terrestres principalmente por la fotosíntesis de las plantas. Las pasturas cubren cerca de 3.4 billones de ha, lo que equivale a la quinta parte de la tierra del mundo (Fisher et al, 1996). En este sentido el aumento en la captura de gases invernadero por las pasturas pueden

tener un impacto de gran importancia en la disminución de la concentración de CO₂ en la atmósfera.

Las pasturas en sistemas multiestratos o como ecosistemas monoespecíficos pueden ser un gran sumidero de CO₂ a través de la acumulación de carbono en la materia orgánica y en la biomasa viva de las plantas. La cantidad de carbono almacenado en las pasturas tropicales en el suelo y la herbácea ha sido estimada en 16 a 48 ton ha⁻¹ (Houghton et al, 2000). Sin embargo, Fisher et al (1994), calcularon 1.5 a 5 veces más la cantidad de carbono en el suelo a una profundidad de 1 metro en los llanos Orientales.

Las pasturas con base en gramíneas "mejoradas" secuestran más carbono en partes profundas del perfil del suelo, generalmente debajo de la capa arable de 10-15 cm, esta característica hace que este carbono este menos expuesto a los procesos de oxidación y por tanto su pérdida como gas invernadero (Fisher et al, 1994).

2.2.13. Los pastizales y el carbono

Los pastizales, debido a su gran extensión y diversidad, tienen un impacto significativo en la captura de carbono de la tierra y potencialmente, pueden secuestrar grandes cantidades de carbono. El aumento de almacenamiento de carbono en los ecosistemas terrestres, se ha promovido como un medio por el cual grandes cantidades de CO₂ pueden ser removidos de la atmósfera (Espinoza 2005), del mismo modo McVay, y C.W. Rice. 2002 menciona que, las pasturas permanentes o las tierras de pastoreo cubren más de 3,000 millones de hectáreas, la mayor parte de las cuales está en tierras áridas; el estado de degradación de

estas tierras se estima que este entre 14 y 31 por ciento es debido a los factores utilizados en el manejo de las pasturas es el control del pastoreo, intensidad, frecuencia, estacionalidad y también un mejor manejo del fuego para el control de las especies leñosas. Otros factores incluyen el mejoramiento del suelo y la calidad de los pastos.

Los pastizales también se definen en gran medida por su utilización para el pastoreo, e incluyen pastizales abiertos y pastizales con una baja cubierta de plantas leñosas. Los estudios del IPCC utilizan los datos de FAOSTAT sobre la cubierta terrestre que estiman en 3488 millones por ha la extensión de los pastizales a nivel mundial para el año 2002, o el 69 % de las tierras agrícolas del planeta. La inclusión de una amplia gama de tipos de vegetación sugiere que a nivel mundial la extensión de tierras de pastoreo es de 5250 M ha (White et al. 2000). Se estima que los pastizales incluyen entre el 10 y el 30 por ciento del carbono del suelo de todo el mundo (Anderson, 1991).

2.2.13.1. Carbono y emisiones de gases efecto invernadero en pastizales

Los pastizales, continúan siendo los responsables de la degradación de los suelos y por altas emisiones de gases efecto invernadero (Steinfeld et al., 2006), haciéndolo vulnerable a prácticas proteccionistas de mercados e intervenciones de políticas públicas.

A escala global, las principales emisiones de gases CO provienen y del de suelos, el N excretas (CH₄ y N₂O) y fermentación entérica (CH₄). La reducción de las emisiones fermentación entérica puede ser lograda por una mejoría en el

rendimiento animal de la mejora de la dieta animal, prácticas de alimentación, manejo de pastizales o con el uso de animales más eficientes. De esta manera, el manejo de pastizales para mejorar la dieta animal y para mantener o incrementar el carbono de los suelos, así como los sistemas agrosilvopastoriles, tienen el mayor potencial para secuestro de carbono y reducción de las emisiones de gases efecto invernadero pecuarias (UNFCCC, 2008). El potencial de secuestro de carbono al convertir tierras de cultivo degradadas puede ser muy importante, con tasas promedio de captura de carbono de 3.1 t C/ha para el manejo de pastizales (IPCC, 2004).

El 89 % del potencial de mitigación del sector agropecuario puede lograrse a través del secuestro de carbono en los suelos, usando diferentes estrategias: manejo de cultivos, pastoreo, restauración de tierras degradadas, bioenergía y manejo del agua (UNFCCC, 2008).

En términos globales, el almacén de carbono total del suelo es 4 veces mayor que el almacén biótico (árboles, arbustos, etc.) y alrededor de 3 veces más que el almacén atmosférico (IPCC, 2004). Estos números ponen en perspectiva la importancia del carbono orgánico en los suelos.

2.2.13.2. Carbono orgánico de los suelos y manejo de pastizales

Según Conant et al. (2001); menciona que uso de diferentes prácticas de manejo de los pastizales como riego, introducción de leguminosas, mejora del pastoreo, fertilización, etc. generalmente incrementa el carbono orgánico del suelo; esto es que las prácticas de mejora en la producción de forraje aumentan la captura de carbono orgánico del suelo en promedio 0.54 t C/ha/año. Del análisis de diferentes

casos el estudio de sitios pareados de pastizales naturales o bien manejados a pastizales degradados, encontraron que la densidad de carbono tenía una relación de carbono de pastizal degradado de 0.8 t C/ha.

2.2.13.3. Potencial de secuestro de las actividades de gestión de los pastizales

En los ecosistemas de pastizales, la mayor parte del carbono se almacena en el suelo, de modo que la secuestro del carbono del suelo es el principal potencial. Las prácticas de gestión que aumentan el aporte de materia orgánica a los suelos o que disminuyen las pérdidas derivadas de la respiración y erosión del suelo pueden secuestrar carbono adicional, mientras que debe evitarse las acciones que disminuyen los aportes de carbono o aumentan las pérdidas. Los pastizales tienen grandes variaciones en términos de sus características climáticas, vegetación y tipos de suelo. La investigación ha demostrado que algunos tipos de pastizales pueden responder positivamente a una cierta práctica en tanto que la misma práctica puede reducir las tasas de secuestro en otros lugares en la cual debe diseñarse prácticas para la gestión del carbono del suelo de los pastizales acorde a las características de cada sitio (Barrow et al. 2007).

Tabla 1. Potencial para la secuestro de carbono de las prácticas de gestión de los pastizales

Práctica de gestión	N° de puntos de datos		Cambio promedio en tCO ₂ e/ha/año o cambio total en % C
Cultivo de vegetación	C: 31	#: 7	9.39 tCO ₂ e/ha 0.56%
Evitar cambios en la cobertura vegetal / uso del suelo	C: 65	#: 22	0.40 tCO ₂ e/ha 0.87%
Gestión del pastoreo	C: 55	#: 21	2.16 t CO ₂ e/ha 0.13%
Fertilización	F c: 27	#: 68	1.76 t CO ₂ e/ha 0.47%
Control de incendios	C: 2	#: 1	2.68 t CO ₂ e/ha 0%

*c = n°. de estudios basados en el contenido de C, # = n°. de estudios basados en el % C

2.2.13.4. Ciclos del carbono de los pastizales

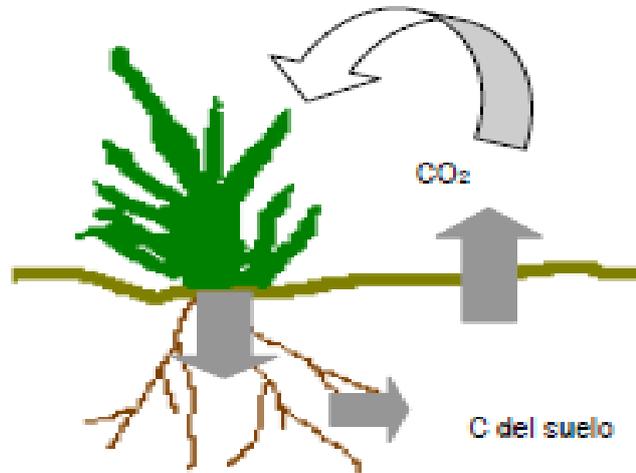


Figura 1. Ciclo del carbono en pastos

Según Timm Tennigkeit et al. (2008), menciona que el ciclo del carbono de acuerdo a la figura 1, las plantas asimilan el CO₂ de la atmósfera conforme se fotosintetizan y de acuerdo a su crecimiento. La vegetación aérea de los pastizales contiene carbono de 5-25 t C/ha, a medida que crecen los pastos, las hojas y tallos secos como la hojarasca que caen al suelo y se descomponen; y las raíces que a menudo contienen más carbono que la biomasa aérea también crecen, y algunas de las raíces subterráneas mueren y se descomponen año tras año. Los microorganismos del suelo contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y el carbono de estas fuentes se asimila en reservas de carbono en el suelo y contribuye a la acumulación de carbono orgánico del suelo. Por tanto, los modelos comunes del carbono de los pastizales se centran generalmente en tres o cuatro “reservorios” de carbono: el carbono de la vegetación viva incluyendo la biomasa aérea y las raíces subterráneas vivas, la hojarasca y el suelo.

En los ecosistemas de pastizales, con una cantidad limitada de biomasa aérea, hasta el 98% del carbono se almacena bajo el suelo (Hungate et al. 1997). Por lo tanto, al examinar el potencial de secuestro de carbono de la vegetación de los pastizales, la secuestro del carbono del suelo es el principal potencial. Dado que las plantas leñosas almacenan carbono en la biomasa aérea, los arbustos y árboles en los pastizales también pueden tener un impacto importante sobre el total de las reservas de carbono y las tasas de secuestro. Una gran proporción del carbono que entra al reservorio de carbono del suelo también se pierde a la atmósfera debido a la respiración del suelo, por lo que la secuestro neta de carbono depende fundamentalmente de:

1. la tasa de aporte de materia orgánica
2. la tasa de descomposición de la materia orgánica
3. la tasa de pérdida de carbono a través de la respiración del suelo

Aparte de las prácticas de gestión, estas tasas se ven afectadas por varios factores. El nivel del aporte de materia orgánica a los pastizales naturales depende de la cantidad y la tasa de crecimiento de la biomasa. Las tasas de descomposición son determinadas principalmente por las variables climáticas como disponibilidad de agua y temperatura y de la actividad microbiana y la estructura del suelo.

Las reservas de carbono orgánico del suelo tienden a ser mayores en suelos con un elevado contenido de arcilla. Las tasas de respiración del suelo también se ven afectadas por las variables climáticas. Debido a la influencia de estos factores, los ecosistemas que se caracterizan por diferentes regímenes de precipitación y temperatura y tipos de suelo, tienen diferentes posibilidades de secuestro de carbono (Parton et al. 1995), por ejemplo, señalan que las tasas de secuestro

varían entre 1,83 t CO₂e ha⁻¹/año en zonas templadas y 2,57 tCO₂ ha⁻¹/año en zonas secas tropicales, y 12,47 tCO₂ ha⁻¹/año en zonas húmedas tropicales.

Después de prolongados períodos de secuestro de carbono neto, se saturan las reservas de carbono del suelo y la implicación en términos de potencial para la financiación del carbono es que otros tipos de gestión podrían en realidad no aumentar la cantidad de carbono secuestrado por tanto, el potencial para la financiación del carbono sería limitado (Conant et al. 2001).

2.2.13.5.El impacto de las prácticas de gestión en la secuestro de carbono de los pastizales

Los pastizales acumulan carbono a través del ciclo de carbono, que a su vez deriva en cambios en las reservas de carbono en suelos que subtienden diferentes tipos de vegetación de los pastizales. Si se aumenta el tamaño de estas reservas se elimina el CO₂ de la atmósfera y si se previene la pérdida de reservas de carbono o se reduce las emisiones de CO₂ del uso del suelo, se reduce la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera.

Las prácticas de gestión con potencial para aumentar la secuestro de carbono o reducir las pérdidas de carbono en los pastizales son las siguientes:

- Aumento del aporte de carbono de la biomasa al suelo mediante una mejor gestión de los pastizales: Mejorando, reduciendo o aumentando las tasas de carga animal, pastoreo rotativo, planeado o adaptativo, cercando los pastizales para impedir el pastoreo del ganado.
- Aumento de la biomasa mediante: La siembra de pastos o leguminosas para forraje, mejora de la estructura de la comunidad vegetal y la fertilización,

- Gestión mejorada de la conversión del uso del suelo: Convirtiendo el uso agrícola del suelo a pastizales permanentes, evitando la conversión de los pastizales a tierras de cultivo, evitando la conversión de bosques a pasturas.
- Gestión y control de incendios
- Tecnologías energéticas alternativas para sustituir el uso de arbustos o estiércol como combustible.

Las prácticas de gestión afectan las reservas de carbono, las tasas de secuestro de carbono del suelo y las emisiones de gases efecto invernadero. Las reservas de carbono se pueden reducir a través de la degradación del suelo o mediante la conversión de los pastizales a otros usos, tales como el cultivo agrícola. Otras prácticas de gestión también pueden tener importantes impactos sobre las tasas de aporte y descomposición de materia orgánica, así como la respiración del suelo. Por ejemplo, un pastoreo excesivo, con la consiguiente disminución de la cubierta vegetal, o la siega en sistemas de corte y acarreo, puede reducir la cantidad del aporte de materia orgánica a los suelos de los pastizales. Así mismo el sobrepastoreo puede afectar la temperatura del suelo debido a los efectos del pisoteo y por tanto influir en la actividad microbiana y las tasas de descomposición. El manejo inadecuado también puede disminuir la cubierta vegetal y las tasas de infiltración de agua, incidiendo, por lo tanto, en las tasas de respiración del suelo.

Desde un punto de vista de la gestión del carbono del suelo de los pastizales, las prácticas de gestión que aumentan las aportaciones de carbono a los suelos de los pastizales o disminuyen las pérdidas de carbono se consideran "buenas" prácticas, mientras que las acciones que disminuyen las aportaciones de carbono o aumentan la pérdida de carbono se consideran "malas" prácticas.

Cabe mencionar que la mayoría de las prácticas de secuestro de carbono también tienen otros beneficios. El aumento en el contenido del carbono del suelo por lo general mejorará la fertilidad del suelo, con beneficios para la productividad de la vegetación de los pastizales, la mejora en la salud y la productividad de la vegetación de los pastizales es probable que también beneficie la producción ganadera y por ende los medios de vida de los pastores que dependen de ella. Mejorando la calidad del suelo se puede también mejorar la capacidad de retención de agua, reducir la erosión de los suelos y preservar la biodiversidad. Los beneficios de las prácticas de secuestro de carbono también deben considerarse desde la perspectiva de los servicios ambientales proporcionados por los administradores de los pastizales y la gestión de los recursos que apoya los medios de vida sostenibles de los pastores.

Empero, hay riesgos de impactos negativos asociados con algunas prácticas de gestión para la secuestro de carbono por ejemplo, la fertilización suele aumentar las reservas de carbono del suelo, si bien también puede aumentar las emisiones de N₂O, afectar la estructura del suelo, contaminar las fuentes de abastecimiento de agua y aumentar las emisiones netas debido a las emisiones de los combustibles fósiles relacionados con la producción de fertilizantes. (Timm, Tennigkeit et. al 2008).

2.2.14. Bienes y servicios ambientales

Olguín (2001), afirma que en este sentido varios autores han coincidido en incorporar una perspectiva integral económico - ecológica, basada principalmente en los bienes y servicios ambientales (BSA). El reconocimiento de los BSA, además de establecer un valor económico a los beneficios que la naturaleza brinda

de forma gratuita, alerta a las sociedades sobre pérdidas de elementos y funciones ecológicas que son sustento de la actividad económica y de su propio bienestar.

2.2.14.1. Efecto de los estreses ambientales sobre la fijación de CO₂

Los estreses ambientales como la salinidad, la sequía, las altas o bajas temperaturas o la disminución de la radiación solar alteran la estructura y metabolismo de las plantas, por lo tanto afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO₂ (Martínez-Ballesta y col., 2009). Estos factores ambientales, son variables clave que afectan al desarrollo de las plantas, dado que son esenciales en los procesos de absorción y transporte de agua y nutrientes. Por lo tanto, el efecto de esos estreses pueden tener numerosas consecuencias para los cultivos, variando tanto desde respuestas fisiológicas a corto plazo en las plantas de forma individual, como cambios a largo plazo en la estructura y función de las plantas. En numerosos estudios se ha mostrado que las plantas presentan frente a factores ambientales un amplio rango de respuestas que conducen normalmente a un déficit hídrico (Kimball et al., 2002).

Dado el carácter fuertemente desecante de la atmósfera, el control de las pérdidas de agua ha sido siempre un aspecto clave para las plantas. Por una parte, el flujo de agua a través de una planta debe ser suficiente para mantener la nutrición y la incorporación de CO₂. Y por otra, como la asimilación y la transpiración están estrechamente ligadas en casi todas las plantas, la disponibilidad de agua impone un límite máximo a la productividad (desarrollo).

(Steudle and Peterson, 1998). Al mismo tiempo, para evitar la desecación de las partes aéreas, el flujo de agua que entra en la planta por las raíces ha de compensar la salida de agua por las hojas. Dado que los procesos fisiológicos son extremadamente sensibles al déficit hídrico, la conservación del agua para mantener potenciales hídricos razonablemente altos suele ser el principal problema en las zonas con climas cálidos y escasez de precipitaciones.

Con el aumento de las temperaturas puede inducirse un incremento de la fotorrespiración que es un mecanismo de protección del aparato fotosintético y que no conlleva fijación del CO₂ (Sofa et al., 2005). La acción combinada de los diferentes factores medioambientales (vapor de agua en la atmósfera y subida de las temperaturas) podría conducir a una mayor producción de biomasa, pero sólo si las plantas recibieran además un aporte de otros nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo o potasio (la acción antropogénica podría aportar nitrógeno a los ecosistemas naturales, ya que es un residuo de muchas de nuestras emisiones contaminantes).

2.2.15. El Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto fue adoptado durante la tercera reunión de la conferencia de las Partes (COP₃), en Kyoto, Japón, el 11 de diciembre de 1997 y entra en vigencia el 16 de febrero del 2005. Incluye límites legalmente vinculantes para las emisiones de gases efecto invernadero de los países industrializados, países incluidos en el Anexo I del protocolo Kyoto para reducir sus emisiones de seis gases efecto invernadero, en 5 % por debajo de los niveles de 1990 año base en el primer período de compromisos establecido entre el 2008 - 2012 (WWF, 2006).

Según Brown (1992), citado por Márquez (2000), los países en desarrollo son países no incluidos en el Anexo I del protocolo de Kioto que no están obligados por el protocolo a comprometerse con límites de emisiones.

El Protocolo de Kyoto crea un vehículo a través del cual pueden fluir capitales desde países industrializados a países en vías de desarrollo, generándose oportunidades, tanto en el sector forestal como en otros sectores de la economía (Martino, 2006). Para ello se estableció 3 mecanismos para facilitar lograr los objetivos de la CMNUCC, y ayudar a los países industrializados alcanzar sus límites, estos conjuntamente se llaman mecanismos flexibles. Estos mecanismos son: Implementación conjunta (artículo 6), el Mecanismo de Desarrollo Limpio (artículo 12) y el Comercio de Emisiones (artículo 17), que sólo estarán a la disposición de aquellos que ratifiquen el tratado. En términos de proyectos de fijación de carbono en países en desarrollo, el Mecanismo de Desarrollo Limpio es el mecanismo flexible relevante. Por otro lado los mecanismos flexibles están diseñados para promover descensos en las emisiones con el menor costo posible (Márquez; 2000). Específicamente el Artículo 3.4 del protocolo permite la expansión de los sumideros creados por la intervención humana. Por otro lado los acuerdos post Kyoto consideran los sumideros en los países y reconocen el potencial fundamental de la agricultura, de las tierras de pastoreo y de los suelos forestales para capturar carbono y la necesidad de conceder créditos nacionales para favorecer la formación de sumideros de carbono en los suelos agrícolas (FAO, 2000).

2.3. Definición de términos básicos

Captura de carbono: procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono. Así mismo se define como el almacenamiento de carbono en ecosistemas de céspedes ocurre en el suelo. El dióxido de carbono es absorbido por las plantas a través de la fotosíntesis. A medida que la planta crece las raíces dejan de funcionar se degradan en el suelo y son almacenadas como materia orgánica (humus) en el suelo.

Cambio climático: Según la Convención de las Naciones Unidas es un cambio en el clima, atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables.

Efecto invernadero: Es el proceso por el cual la energía del sol, tras calentar la superficie terrestre al incidir sobre ella, se retiene por un efecto de retroalimentación en la atmósfera, producido por el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂) y otros gases atmosféricos. Aplicado a la tierra se refiere al posible calentamiento global debido a la acumulación de los gases de efecto invernadero provocada por la actividad humana, principalmente desde la revolución industrial por la quema de combustibles fósiles y la producción de nuevos productos químicos.

Gases de Efecto Invernadero: Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y reemiten radiación infrarroja. Estos gases son: Dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄),

óxido nítrico (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

Biomasa aérea: Material vegetal acumulado sobre el nivel del suelo como entrenudos aéreos del tallo, raíces, y estructuras reproductivas.

Protocolo de Kyoto: Manifiesta la nueva actitud de la comunidad internacional ante el fenómeno del cambio climático los países industrializados se comprometieron a reducir a un nivel inferior en no menos del 5 % al de 1990 sus emisiones de seis gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nítrico, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre) en el período comprendido entre 2008 y 2012.

Fotosíntesis: proceso a través del cual las plantas, las algas y algún tipo de bacteria captan la energía de la luz que emana el sol y la utilizan para transformar la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que les resultará fundamental a la hora de su crecimiento y desarrollo.

Sistemas Pastoriles: Según un nuevo informe de la FAO. Los pastos y las tierras de pastoreo representan un sumidero de carbono que podría superar al que ofrecen los bosques, si se utiliza adecuadamente.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA CONTRASTACIÓN DE LA HIPOTESIS

3.1. Variables de identificación y selección de las unidades de análisis

Unidad de Análisis.

Sistemas de pastos mejorados en el distrito de San Silvestre de Cochán provincia de San Miguel- Cajamarca.

Variables

Variable Independiente

- Carbono almacenado en la biomasa aérea, biomasa radicular y suelo.

Variable Dependiente

- Carbono total almacenado en sistemas de pastos mejorados.

Muestra

Los estratos evaluados fueron:

- biomasa aérea
- biomasa radicular
- suelo

3.2. Metodología de la investigación

3.2.1. Localización y duración de la investigación

El estudio se desarrolló en la comunidad de Pampa Larga del distrito de San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel, del departamento de Cajamarca, a una altitud de 3600 msnm y la ubicación georeferenciada de 6° 59' 36'' latitud sur y 78° 45' 52'' longitud oeste.

Mapa de ubicación del estudio. Ver (anexo)

Mapa de ubicación de las parcelas de pastos. Ver (anexo)

La investigación se realizó desde octubre 2012 a marzo 2013

3.2.2. Tipo y Diseño de Investigación

El trabajo de investigación se desarrolló con un diseño no experimental, descriptivo y de carácter transversal.

La investigación se tipificó en base a la metodología que se expone en la tabla 2.

Tabla 2. Tipificación del diseño de la investigación

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estratégica o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa
Objetivos (alcances)	Descriptivos
Fuente de datos	Primaria (de datos primarios)
Control en el diseño de la prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal
Contexto donde se realizará	Campo
Intervención disciplinaria	Multidisciplinaria

Fuente: (Arévalo et al. 2003)

3.2.3. Prueba de Instrumentos de Recolección de datos o del Diseño Experimental

Tabla 3. Fuentes, técnicas e instrumentos para la recolección de los datos de las variables

Variables	Recolección de datos				
	Indicadores	Índice	Fuente de los datos	Técnica	Instrumento
Carbono en la biomasa aérea	Biomasa aérea en fresco	t C/ha	Primaria material vegetativo	Observación participativa	Guía metodológica
	Biomasa aérea en seco	t C/ha			
Carbono en la biomasa radicular	Biomasa radicular en fresco	t C/ha	Primaria material vegetativo	Observación participativa	Guía metodológica
	Biomasa radicular en seco	t C/ha			
Carbono en el suelo	Muestra de suelo	t C/ha	Primaria material sustrato	Observación participativa	Guía metodológica

Fuente: (Elaboración propia, 2012)

3.2.4. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos

Los datos se procesaron mediante el análisis descriptivo y el Software Microsoft Excel que fue utilizado para realizar cálculos de medias para las diferentes muestras obtenidas.

3.2.4.1. Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con SAS a través de la prueba de “t” de Student que proporciona el método para comparar las medias de dos muestras; para realizar las comparaciones de la determinación de captura de carbono de los dos sistemas de pastos.

3.2.5. Aplicación de instrumentos de recolección de datos o el diseño experimental

El experimento se desarrolló en base a la siguiente metodología:

a) Determinación de biomasa aérea

➤ Delimitación y trazado de parcela

Se realizó la medición y delimitación de parcelas en áreas de 2 ha de pastos mejorados 1 ha de *Avena sativa* L (avena) y 1 ha de *Lolium multiflorum* Lam (rye grass) y en cuyo interior se trazaron cuadrantes de 1m² para la evaluación de la biomasa aérea.

➤ Toma de Datos

1° Se realizó un muestreo puntual de los pastos de avena y rye gass, en esta fase se determinó la biomasa aérea de la vegetación en las unidades experimentales mediante el muestreo directo en cuadrantes de 1 m², tal como se presenta en la figura 2, recolectándose 3 muestras por cada parcela.

2° Se cortó la vegetación a nivel del suelo de las muestras tomadas en el cuadrante de 1 m² se registró el peso fresco, en campo cada una de las muestras fueron colocándose en una bolsa de papel correctamente etiquetada.

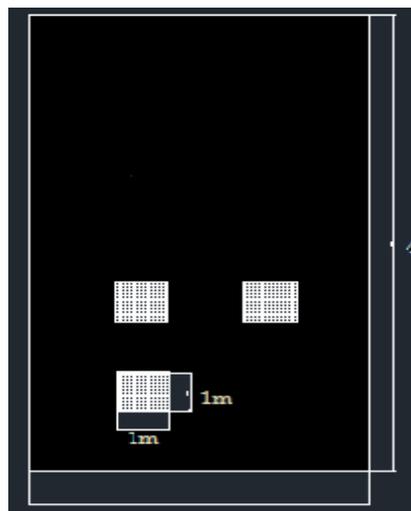


Figura 2. Croquis de diseño del muestreo por hectárea

3° Las muestras colectadas se llevaron al laboratorio de Biología de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) 1D-101, para el secado, en estufa a 75 °C por 24 horas, hasta obtener un peso constante.

4° El peso seco de esta biomasa aérea, se convierte a t C/ha , se encuentra el Materia seca (MS) en porcentaje.

5° Para obtener la cantidad de carbono en la biomasa aérea, se multiplicó el valor obtenido de la biomasa, por un factor de conversión de carbono de 0,5. Este factor, es el resultado de un gran número de estudios, que han demostrado que, en promedio la materia vegetal contiene un 50 % de carbono, una vez que se ha removido el agua (Márquez, L. 2000).

Cálculo de Porcentaje de materia seca (MS%)

$$MS\% = \frac{Ps}{Pf} * 100$$

MS% = Porcentaje materia seca
Ps = peso seco
Pf = peso fresco

Cálculo de carbono en la biomasa aérea (BA)

$$C\ tBA = (C) * FC$$

CtBA = carbono total de biomasa aérea
C = carbono de biomasa aérea
FC = constante de factor de conversión de carbono

b) Determinación de biomasa radicular (BR)

Se realizó con el método de muestreo con barreno de golpe

- 1° Se colectaron las muestras, previa estratificación, con un barreno de volumen conocido (cilindro de 8 cm de diámetro por 25 cm de longitud). Posteriormente, se separaron las raíces del suelo para estimar su biomasa.
- 2° De las muestras que se colectaron se hizo un registro continuo del peso fresco en campo.
- 3° Las muestras se llevaron al laboratorio de Biología de la UNC 1D-101, para secarlas en estufa a 75°C por 24 horas, hasta obtener un peso constante.
- 4° El peso seco de esta biomasa se convierte a t C/ha, se encuentra la materia seca (MS) en porcentaje.
- 5° Para la determinar el contenido de carbono en biomasa radicular se aplicó el mismo proceso de la biomasa aérea.

c) Determinación de carbono en el suelo (Cs)

Para determinar el carbono en el suelo:

- 1° Se construyeron dos calicatas de 0,5 m de profundidad en cada una de las parcelas de pastos
- 2° Se tomaron muestras consecutivas a diferentes profundidades de perfil del suelo: 0,00 - 0,10 m; 0,10 – 0,20 m; 0,20 – 0,50 m, cada muestra fue de 500 gramos tomándose el peso fresco.
- 3° Las muestras se llevaron al laboratorio Biología de la UNC 1D-101, para secarlas en estufa a 75°C por 24 horas, hasta obtener un peso constante.
- 4° Se calculó la densidad aparente y volumen del suelo
- 6° El peso seco de esta biomasa se convierte a t C/ha

7° Para la determinar el contenido de carbono acumulado en el suelo se aplicó el mismo proceso de la biomasa aérea y la biomasa radicular.

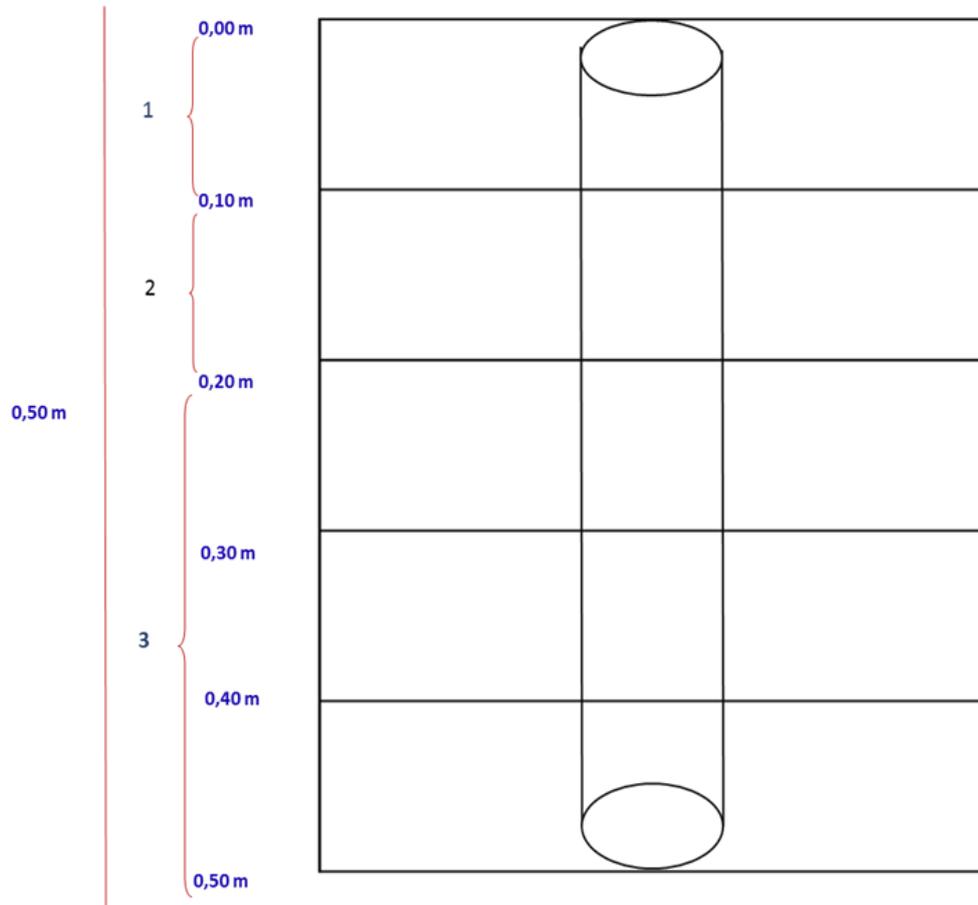


Figura 3. Diagrama de una calicata del suelo a diferente profundidad

➤ Toma de Datos

Cálculo de la densidad aparente del suelo

Se aplicó la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{PS}{V}$$

Donde

Da = densidad aparente del suelo en g/cm^3

PS = peso seco del suelo

V = volumen que ocupa el suelo

Cálculo del Volumen del suelo (Vs)

$$V_s = da * Pr * A$$

Donde

da = densidad aparente del suelo

Pr = profundidad de horizonte en cm

A = Área

VS = volumen del suelo

Cálculo de carbono en el suelo

$$CS = V * FC$$

CS = Carbono en el suelo

V = Volumen del suelo

C = Factor carbono constante (0.5)

d) Determinación de carbono total (Ct) en los sistemas de pastos

$$Ct = CtBA + CtBR + CtS$$

Ct = carbono total

CtBA = carbono total de biomasa aérea

CtBR = carbono total de biomasa radicular

CtS = Carbono en el suelo

e) Determinación de carbono estimado (CO₂-e) en los sistemas de pastos

Se multiplicó el carbono total acumulado en cada uno de los sistemas de pastos por el factor de conversión de CO₂, que es 3,67 encontrándose la relación entre el peso de la molécula CO₂ = 44 y el peso del átomo de carbono = 12 (Chambi, 2001).

$$CO_2-e = Ct * Kr$$

CO₂-e = Toneladas de dióxido de Carbono

Ct = Carbono total

Kr = constante de CO₂

$$Kr = \frac{\text{peso de molécula de CO}_2}{\text{Peso de átomo de C}} = \frac{44}{12} = 3,67$$

$$CO_2-e = Carbono total * Kr$$

3.3. Comparaciones de medias muestrales

Una vez que se obtuvieron los índices de carbono para cada variable, estos valores fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANOVA) y posteriormente a una prueba de comparación de “t” de Student con la finalidad de saber si existe variación de captura de carbono entre las dos especies de pastos en estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas tanto en la fase de campo como en laboratorio, así mismo se muestran los análisis estadísticos correspondientes.

a) DETERMINACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE LOS SISTEMAS DE PASTOS

Cuadro 1. Determinación de carbono en la biomasa aérea de avena

% de Floración	Peso fresco (kg / m ²)	Peso fresco (kg /ha)	BIOMASA AEREA				Factor de carbono (FC)	C t/ha/año
			MS % (g)	MS % (kg)	MS % (kg)/ha	MS % (t)/ha		
10	1,80	18000	28,40	0,028	511,20	0,01	0,5	0,007
50	2,94	29400	26,77	0,027	787,04	0,02	0,5	0,011
85	4,60	46000	23,78	0,024	1093,88	0,03	0,5	0,013

En el cuadro 1, se muestra la determinación de carbono de biomasa aérea de avena de acuerdo al estado floración al 10 %, 50 % y 85 %; al 10 % fue de 0,007 t C/ha/año, al 50 % de 0,011 t C/ha/año y al 85 % es de 0,013 t C/ha/año; siendo ésta la de mayor cantidad de carbono acumulado, este resultado se debe a la fenología del cultivo que se da en la etapa de la floración desde el espigado hasta la presencia de la flor y desarrollo de grano, donde se acumula

la mayor parte de la materia seca fijando mayor cantidad de carbono en las plantaciones del cultivo por unidad de área, por unidad de tiempo, en función de la edad, diámetro, altura de las plantas, la densidad poblacional de cada estrato por comunidad vegetal (Chávez, 2000).

Cuadro 2. Determinación de carbono en la biomasa aérea de rye grass

% de Floración	Peso fresco (kg/ m ²)	Peso fresco (kg/ha)	BIOMASA AEREA				Factor de carbono (FC)	C tC/ha/año
			MS % (g)	MS % (kg)	MS % (kg)/ha	MS % (t)/ha		
10	2,14	21400	23,80	0,024	509,32	0,01	0,50	0,030
50	3,74	37400	29,22	0,029	1092,83	0,03	0,50	0,080
85	4,59	45880	29,22	0,029	1340,61	0,04	0,50	0,098

En el cuadro 2, se muestra la determinación de carbono de biomasa aérea de rye grass de acuerdo a los diferentes estados floración evaluados al 10 % fue de 0,030 t C/ha/año, al 50 % de 0,080 t C/ha/año y al 85 % es de 0,098 t C/ha/año; siendo el de mayor cantidad de carbono acumulada al 85 % de floración; estos resultados nos indican que la captura de carbono está relacionada con la edad del cultivo mostrándose un desarrollo heterogéneo en cada etapa de crecimiento, también está en función de las prácticas culturales; verificándose la importancia de la biomasa aérea, al proporcionar el mayor porcentaje de reservas de carbono presentados en cada uno de los estados de floración en los pastos (Fisher et al, 1994).

Cuadro 3. Determinación de carbono en biomasa aerea en dos sistemas de pastos

% de Floración	Carbono estimado de Avena tC/ha/año	Carbono estimado de rye grass tC/ha/año
10	0.007	0,030
50	0.011	0,080
85	0.013	0,098

En el cuadro 3, se muestra que la determinación de carbono en la biomasa aérea de rye gras es creciente y muy significativa en los tres estados de floración al 10 %, 50 % y 85 %, mientras que en avena si bien es creciente es muy poca la diferencia entre los estados de floración.

Al 85 % de floración hay mayor diferencia significativa con 0,098 tC/ha/año en rye grass mientras que el carbono estimado en avena es de 0,013 tC/ha/año. Estos resultados se explican porque el rye gras es un pasto perenne, de cobertura vegetal densa y de periodo vegetativo corto teniendo hasta 5 cortes por año y la producción final de biomasa del cultivo tienen un gran potencial para fijar carbono al utilizar la ruta fotosintética con mayor capacidad de integrar el gas en la materia orgánica de las plantas, lo cual contribuye positivamente a mitigar las altas emisiones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global (Fisher et al., 1994); en cambio la avena es un cultivo anual de periodo vegetativo largo que presenta un crecimiento lento.

b) DETERMINACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA RADICULAR DE DOS SISTEMAS DE PASTOS MEJORADOS

Cuadro 4. Determinación de carbono en la biomasa radicular de avena

% de Floración	Peso fresco (kg/ m ²)	Peso fresco (kg/ha)	Biomasa radicular (BA) en fresco (g)	BIOMASA RADICULAR				Factor de carbono (FC)	C tC/ha/año
				MS % (g)	MS % (kg)	MS % (kg) /ha	MS % (t)/ha		
10	0,03	261,20	26,12	29,02	0,029	7,58	0,00022	0,5	0,0006
50	0,03	310,00	31,00	27,03	0,027	8,38	0,00023	0,5	0,0006
85	0,03	282,40	28,24	26,19	0,026	7,40	0,00019	0,5	0,0005

Los resultados obtenidos en el cuadro 4, la determinación de carbono en la biomasa radicular de avena de acuerdo al estado floración al 10 %, 50 % y 85

% de; fijando mayor cantidad de carbono al 10 % y 50 % con 0,0006 t C/ha/año. Estos resultados explican que, la raíz de la plantación es abundante y profunda, lo cual les permite absorber mejor los nutrientes del suelo llegando a su máximo crecimiento del cultivo acumulando mayor materia seca y mayor fijación del carbono (Fisher et al., 1994).

Cuadro 5. Determinación de carbono en la biomasa radicular de rye grass

% de Floración	Peso fresco (kg/ m ²)	Peso fresco (kg/ha)	Biomasa Radicular en fresco (g)	BIOMASA RADICULAR				Factor de carbono (FC)	C tC/ha/año
				MS %(g)	MS %(kg)	MS %(kg)/ha	MS %(t)/ha		
10	0,02	221	22,10	33,94	0,034	7,50	0,00025	0,5	0,0006
50	0,03	280	28,00	31,07	0,031	8,70	0,00027	0,5	0,0007
85	0,03	250	25,00	33,60	0,034	8,40	0,00028	0,5	0,0007

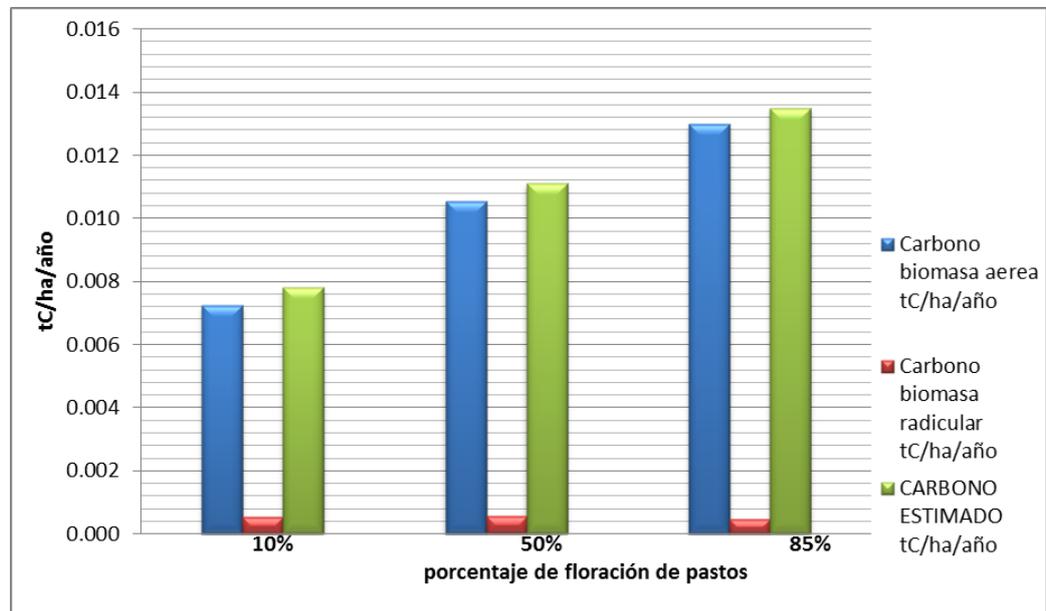
El contenido de carbono acumulado en la biomasa radicular de rye se comportó de forma diferente en los estados de floración (cuadro 5), con diferencias entre el 10 % que fue de 0,0006 tC/ha/año al 50 % y al 85 % de 0,0007 tC/ha/año; los resultados obtenidos se deben a que el sistema radicular de rye gras, varia su crecimiento de acuerdo al estado floración del cultivo fijando mayor cantidad a medida que crece la raíz siendo una parte importante en el balance de carbono y más de la mitad del carbono asimilado por la planta es transportado al suelo a medida que crece la raíz y a través de sus exudados, o de sustancias orgánicas, y por la deposición de hojarasca (Nair et al., 2009).

Cuadro 6. Determinación de carbono en la biomasa radicular en dos sistemas de pastos

% de Floración	Carbono estimado de Avena tC/ha/año	Carbono estimado de rye grass tC/ha/año
10	0.0006	0.0006
50	0.0006	0.0007
85	0.0005	0.0007

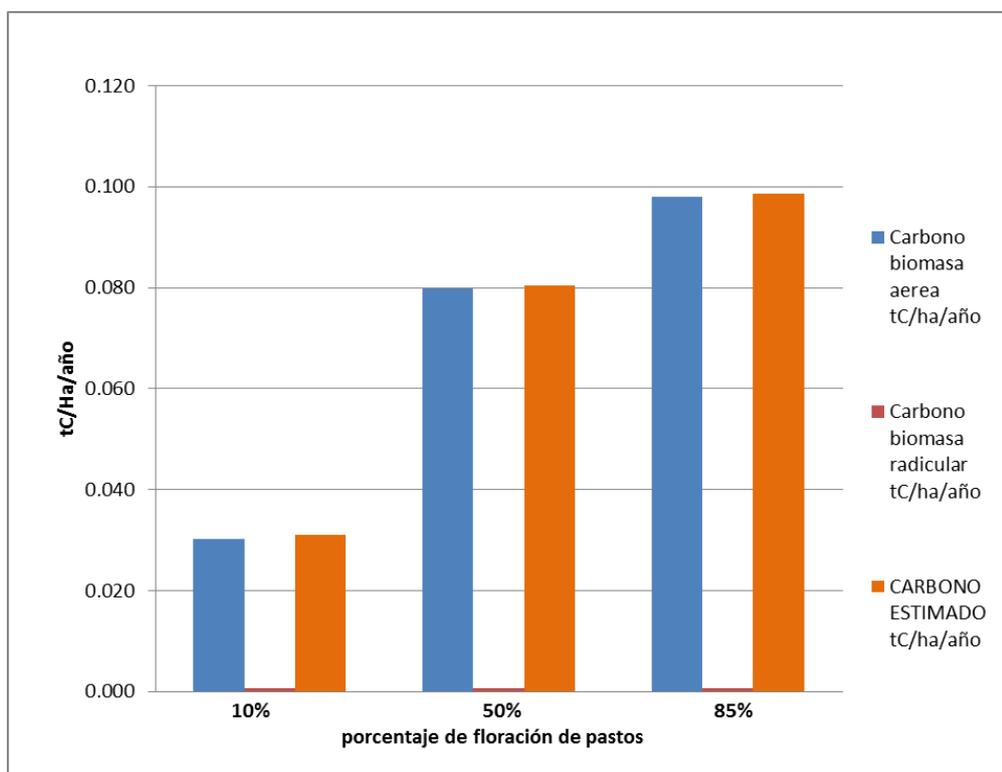
En el cuadro 6, la fijación de carbono almacenado de la biomasa radicular de avena y rye grass de acuerdo al estado floración al 10 %, 50 % y 85 % de floración; son superiores en rye gras al 85 % con 0,0007 tC/ha/año, debido a que las especies con sistema radicular profundo constituyen una opción para incrementar en buena medida la acumulación de carbono, ya que pueden redistribuir el carbono en las capas más profundas del suelo (Fisher.1994).

Gráfico 1. Determinación de carbono en biomasa aérea y biomasa radicular en avena



El gráfico 1, presenta la determinación de carbono en la biomasa aérea y biomasa radicular en los sistemas de pastos de avena, donde se tiene que la biomasa aérea supera a la biomasa radicular en los tres estados de floración 10 %, 50 % y 85 % de floración; siendo superiores el carbono almacenado al 85 % de floración en la biomasa aérea que es de 0,013 t C/ha/año. Estos resultados nos indican que los pastos presentan una vegetación densa con mayor biomasa aérea incrementando el nivel de carbono a medida que crecen las estructuras de las plantas como las hojas y tallos, que por el proceso de fotosíntesis consumen CO₂ y desprende O₂ a la atmósfera (Sofa et al.2005)

Gráfico 2. Determinación de carbono total de biomasa aérea y radicular en rye gras



En el gráfico 2, se presentan la acumulación de carbono en la biomasa aérea y radicular de rye gras, donde la biomasa aérea difirió significativamente con la biomasa radicular en los tres estados de floración, así mismo se observa la misma proporción entre carbono total y biomasa aérea en los 3 estados de floración. Debido a que el carbono contenido en los pastos se asume como el 50% de la materia seca y se cosechó en varios momentos del año tal como sugieren Giraldo y Montoya (2006).

Cuadro 7. Determinación de carbono total en biomasa aérea y radicular en dos sistemas de pastos

% de Floración	Carbono estimado de Avena tC/ha/año	Carbono estimado de rye grass tC/ha/año
10	0.0076	0.0306
50	0.0116	0.0807
85	0.0135	0.0987

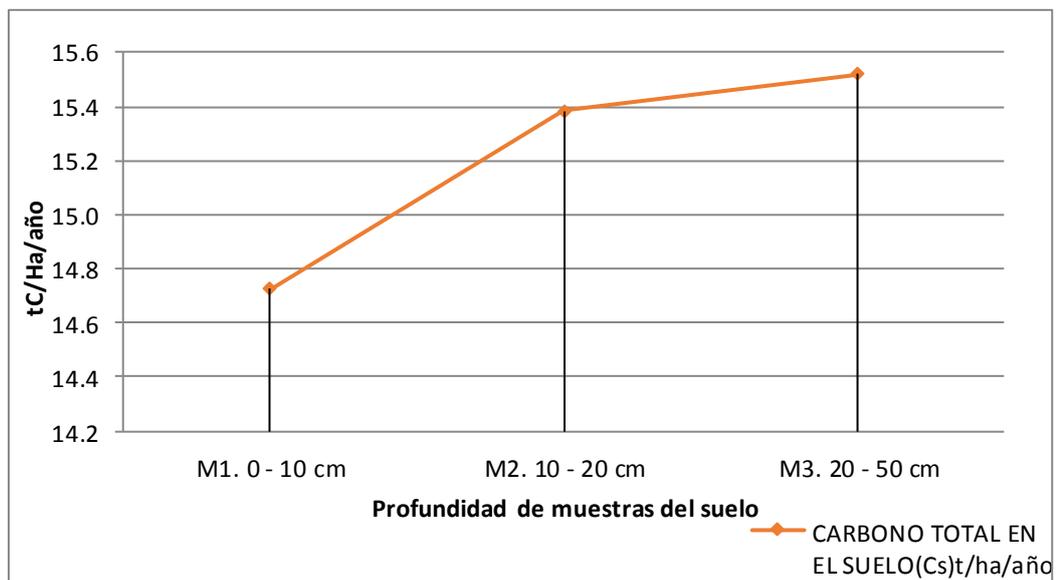
En el cuadro 7, se observa la acumulación de carbono total en los dos sistemas de pastos, destacando rye gras sobre la avena, en los tres estados de floración, el resultado se explica porque el rye grass es una especie perenne, densa con mucho follaje, considerado como un pasto superior al exhibir una germinación vigor y desarrollo sobresaliente. Es muy resistente a las heladas moderadas, constituyendo un pasto excelente para las alturas superiores de 3000 msnm y al aplicarse enmiendas húmicas favorecen el enraizamiento manteniendo el sistema radicular joven y vigoroso durante todo el ciclo del cultivo (Vargas, 2011).

C. DETERMINACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO

Cuadro 8. Cuantificación de carbono del suelo en avena

N° muestra de suelo	peso fresco (g)	peso seco (g)	profundidad de horizonte (cm)	densidad aparente (g/cm ²)	volumen suelo (cm ³ /ha)	Peso del suelo (g)	peso total del suelo (g)	peso de suelo t/ha/año	Factor de carbono (FC)	carbono del suelo t/ha/año
M1(0 a 10 cm)	500	296,0	10	0,7	201	1,4706	294,53	29,5	0,5	14,7
M2(10 a 20 cm)	500	309,5	10	0,5	168	1,8373	307,66	30,8	0,5	15,4
M3(20 a 50 cm)	500	317,0	30	0,2	48	6,5574	310,44	31,0	0,5	15,5
TOTAL										45,6

Gráfico 3. Determinación de carbono total del suelo en avena

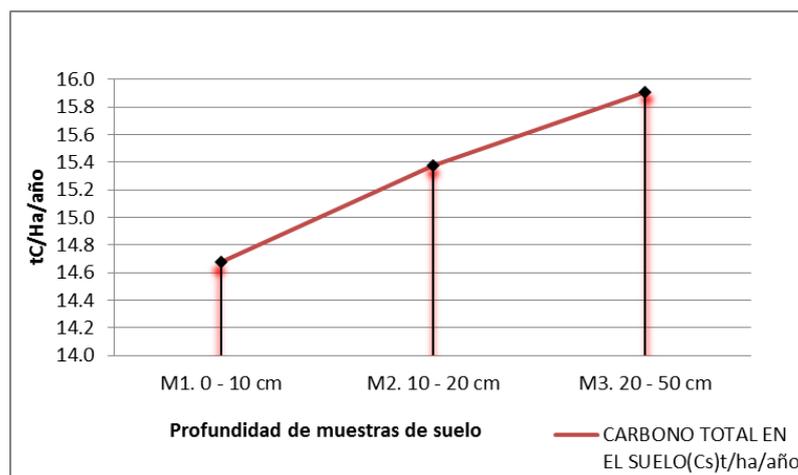


En el cuadro 8 y gráfico 3, representan la cantidad de carbono acumulado en suelo de tres muestras de diferentes profundidades en sistemas de pastos de avena, las muestras de 20 a 50 cm de profundidad difirió significativamente con las de 0 a 10 cm, sin embargo las muestras de 10 a 20 cm no hubo diferencia significativa con las muestras de 20 a 50 cm, teniendo que la mayor cantidad de carbono acumulado en el suelo fue de 20 a 50 cm de profundidad con 15,5 t C/ha/año a diferencia de las muestras de profundidad de 0 a 10 cm con 14,7 t C/ha/año que es menor; el resultado encontrado es porque que más del 60 % de carbono acumulado se encontró en los primeros 30 cm del suelo, profundidad a la que se encontró la materia orgánica en descomposición; es decir, el carbono orgánico del suelo activo en constante descomposición y más susceptible a factores externos (FAO.2002). Del mismo modo Zermeño (2007) encontró que, en usos del suelo como pastizales y otros cultivos, los primeros 0,2 m de profundidad contienen 80 % del C y N del suelo y que el 60 % de la materia orgánica se almacena sobre los primeros 0,3 m de suelo; estos autores no observaron diferencias estadísticas en cuanto al almacén de carbono entre 10 a 20 cm de profundidad.

Cuadro 9. Cuantificación de carbono del suelo en rye grass

N° muestra de suelo	peso fresco (g)	peso seco (g)	profundidad de horizonte (cm)	densidad aparente (g/cm ²)	volumen suelo (cm ³)/ha	Peso del suelo (g)	peso total del suelo (g)	peso de suelo t/ha/año	Factor de carbono (FC)	carbono del suelo t/ha/año
M1(0 A 10 cm)	500	295,0	10	0,7	202	1,4634	293,54	29,4	0,5	14,7
M2(10 A 20 cm)	500	309,4	10	0,5	168	1,8363	307,56	30,8	0,5	15,4
M3(20 A 50 cm)	500	325,0	30	0,1	47	6,8571	318,14	31,8	0,5	15,9
TOTAL										45,9

Gráfico 4. Determinación de carbono total del suelo en rye grass



En el cuadro 9 y gráfico 4, se observa que la mayor cantidad de carbono acumulado en el suelo de los sistemas de pastos con rye grass en tres diferentes profundidades fue mayor de 20 a 50 cm de profundidad con 15,9 tC/ha/año. Este resultado fue inferior al estudio realizado por Botero J. (1999) en pasturas tropicales y pasturas mejoradas que obtuvo una cantidad de carbono almacenado de 16 a 48 t/ha, secuestrando más carbono en las partes más profundas del perfil del suelo, generalmente debajo de la capa arable 10-20 cm.

Cuadro 10. Determinación de carbono total en el suelo de dos sistemas de pastos mejorados de avena y rye grass

Nº muestra de Suelo	Carbono estimado de Avena tC/ha/año	Carbono estimado de rye grass tC/ha/año
M1(0 A 10 cm)	14.7	14.7
M2(10 A 20 cm)	15.4	15.4
M3(20 A 50 cm)	15.5	15.9

En el cuadro 10, se presenta el carbono total acumulado en el suelo de dos sistemas de pastos de avena y rye grass, en donde se observa que el sistema de rye gras supera al sistema de avena, siendo de 45,96 t C/ha/año. Este resultado es

debido a que el rye gras es un cultivo anual de periodo vegetativo corto que llega hasta cinco cortes al año que duplica la producción de biomasa aérea e incrementaría el carbono y el nitrógeno del suelo en 20 % (Zermeño, 2011).

d. DETERMINACIÓN TOTAL DE CARBONO EN DOS SISTEMAS DE PASTOS

Cuadro 11. Determinación de carbono total en dos sistemas de pastos

sistema de pastos	carbono en biomasa aérea (t/ha)	carbono de biomasa radicular(t/ha)	carbono de suelo t/ha/año	carbono total tct/ha/año
AVENA	0,031	0,002	45,6	45,7
RYE GRAS	0,208	0,002	46,0	46,2

En el cuadro 11, se observa que de los dos pastos mejorados la mayor cantidad de carbono total acumulado fue en el rye grass con 46,2 t C/ha/año, esto se debe a que este pasto es denso y también presenta un periodo vegetativo corto por ser perenne y además tiene varios cortes al año; en cambio el pasto de avena es anual que cuando las plantas son tiernas presenta menor contenido de materia seca que las que están en las últimas fases de desarrollo (Flores, 1989).

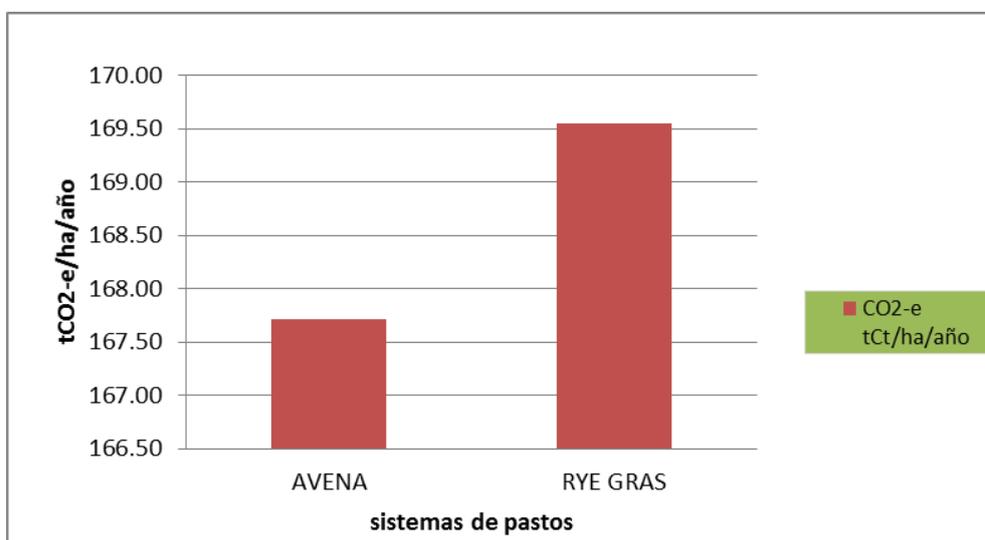
Los suelos son la mayor fuente y reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres, y son la vía principal por la cual el CO₂ fijado por las plantas es retornado a la atmósfera., la emisión de CO₂ de los suelos a la atmósfera ocurre principalmente por la respiración de raíces y organismos heterótrofos (Palacio y Hurtado, 2008).

e. DETERMINACIÓN DE CARBONO ESTIMADO (CO₂) EN DOS SISTEMAS DE PASTOS

Cuadro 12. Determinación de carbono estimado (CO₂) en dos sistemas de pastos

sistema de pastos	carbono total tCt/ha/año	factor CO ₂ (kr)	CO ₂ -e t/ha/año
avena	45,7	3,67	167,72
rye gras	46,2	3,67	169,55

Gráfico 5. Determinación de carbono estimado (CO₂) en dos sistemas de pastos



En el cuadro 12 y gráfico 5, se muestra el carbono estimado de los sistemas de pastos de avena y rye grass obteniendo resultados de 167.72 t CO₂-e/ha/año y 169,55 t CO₂-e/ha/año; siendo el rye grass es el más eficiente en su captación de CO₂-e, debido a que el rye grass es una especie perenne de follaje denso en donde se realiza mayor eficiencia fotosintética asimilando mayor cantidad de carbono; del mismo modo los ecosistemas naturales constituyen el proceso natural de sustraer bióxido de carbono atmosférico, que por medio de la fotosíntesis es fijado el carbono en la estructura vegetal

donde se mantiene almacenado por largos periodos de tiempo (Ordoñez y Masera.2001).

Estos resultados se asemejan a los resultados obtenidos por estudios realizados en la Amazonia en sistemas de pasturas mejorados con una variación de 172 y 160,12 t CO₂-e/ha/año, donde han demostrado que los pastizales tienen un gran potencial de asimilación de bióxido de carbono; además estos sistemas a través del procesos de formación del suelo presentan un importante servicio como secuestrador de CO₂ a razón de 0,06 t CO₂-e/ha/año con lo que contribuye de este modo al mantener la composición de gases en la atmósfera y la regulación del clima(Frankhauser y Pearse.1994).

Así mismo las plantas a medida que crecen los pastos, las hojas y tallos secos como la hojarasca que caen al suelo y se descomponen; y las raíces que a menudo contienen más carbono que la biomasa aérea también crecen, y algunas de las raíces subterráneas mueren y se descomponen año tras año. Los microorganismos del suelo contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y el carbono de estas fuentes se asimila en reservas de carbono en el suelo y contribuye a la acumulación de carbono orgánico del suelo. Por tanto, los modelos comunes del carbono de los pastizales se centran generalmente en tres o cuatro “reservorios” de carbono: el carbono de la vegetación viva incluyendo la biomasa aérea y las raíces subterráneas vivas, la hojarasca y el suelo (Timm Tennigkeit y Andreas Wilkes. 2008).

g. COMPARACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN DOS SISTEMAS DE PASTOS.

Para realizar las comparaciones de la determinación de captura de carbono de los dos sistemas de pastos se realizó el análisis estadístico de varianza con SAS a través de la prueba de “t” de Student que proporciona el método para comparar las medias de dos muestras.

1. Determinación de carbono en biomasa aerea de dos sistemas de pastos de avena y rye gras tC/ha/año

Análisis de varianza en la biomasa aerea en los sistemas de pastos de avena y rye gras.

T- TEST

Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > t
Y	Combinado	Equal	4	-2.89	0.0446
Y	Satterthwaite	Enequal	2.03	-289	0.1001

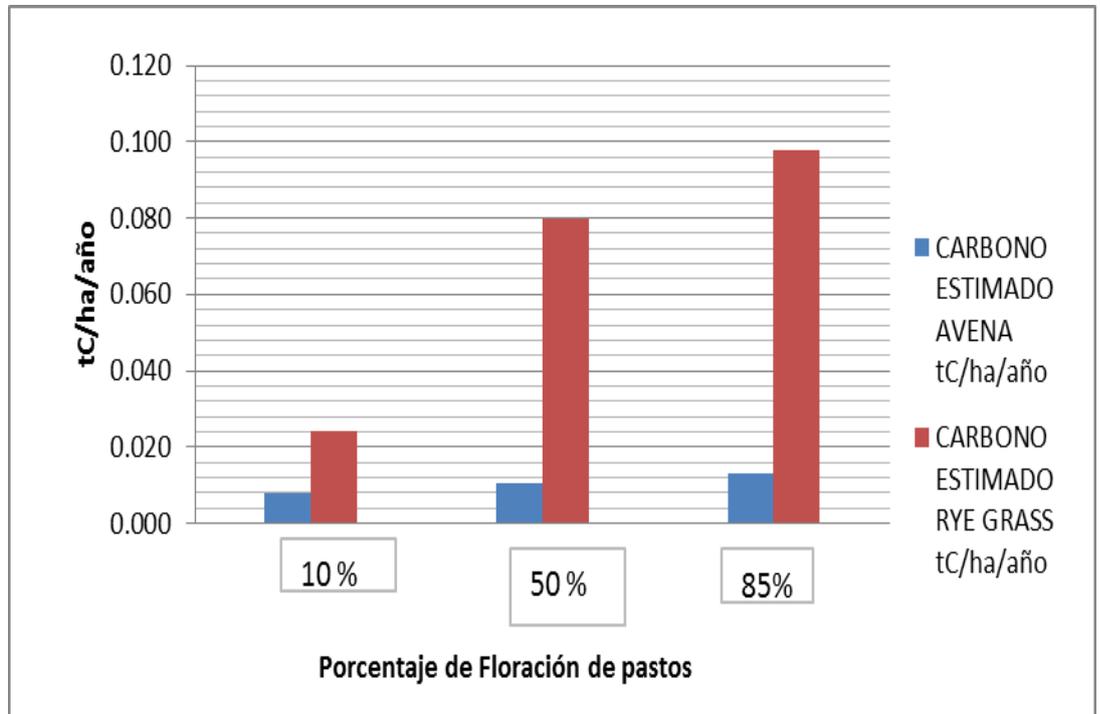
Equality of Variances

Variable	Método	Num F	Den F	F-Valor	Pr > F
Y	Folded F	2	2	133.00	0.0149

En el análisis de varianza mediante la prueba de “t” Studen, nos indica que la probabilidad de obtener un valor que F= 133.00 es muy alta (0.0149) lo que indica que no hay diferencias significativas entre las varianzas. Para poder rechazar la hipótesis H₀, el valor calculado debe ser menor o igual que la probabilidad de error establecido $Pr = 0.0149 \geq \alpha = 0,05$. Por lo tanto existe homogeneidad de

varianzas. Hay diferencias entre los dos promedios de las variables de los sistemas de pastos de avena y rye grass.

Gráfico 6. Determinación de carbono en la biomasa aérea de dos sistemas de pastos de avena y rye grass



En el grafico 6, muestra que acumula mayor contenido de carbono en la biomasa aerea son los sistemas de pastos de rye en sus tres estados de floración al 10%, 80% y 55% obteniendo un resultado máximo de 0,098 tC/ha/año y en el de avena fue de 0,013 tC/ha/año. Al realizar el análisis de varianza ($p > 95\%$) con la prueba de t de Student, se encontraron diferencias estadísticamente significativas, mostró que las especies en la biomasa aerea, no son similares fueron los sistemas de pastos de rye grass en sus tres estados de floración que mostraron mayor acumulación de carbono. Estos resultados se deben a que el rye gras es un pasto que, tiene un alto valor de vigor de plantas con cobertura vegetal densa con mayor producción de biomasa aerea que tienen un gran potencial para fijar carbono al utilizar la ruta fotosintética con mayor capacidad de integrar el gas en la materia orgánica de las plantas, lo cual contribuye positivamente a

mitigar las altas emisiones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global (Fisher et al., 1994).

2. Determinación de carbono en la biomasa radicular de dos sistemas de pastos de avena y rye grass

Análisis de varianza en la biomasa radicular en los sistemas de pastos de avena y rye gras.

T- TEST

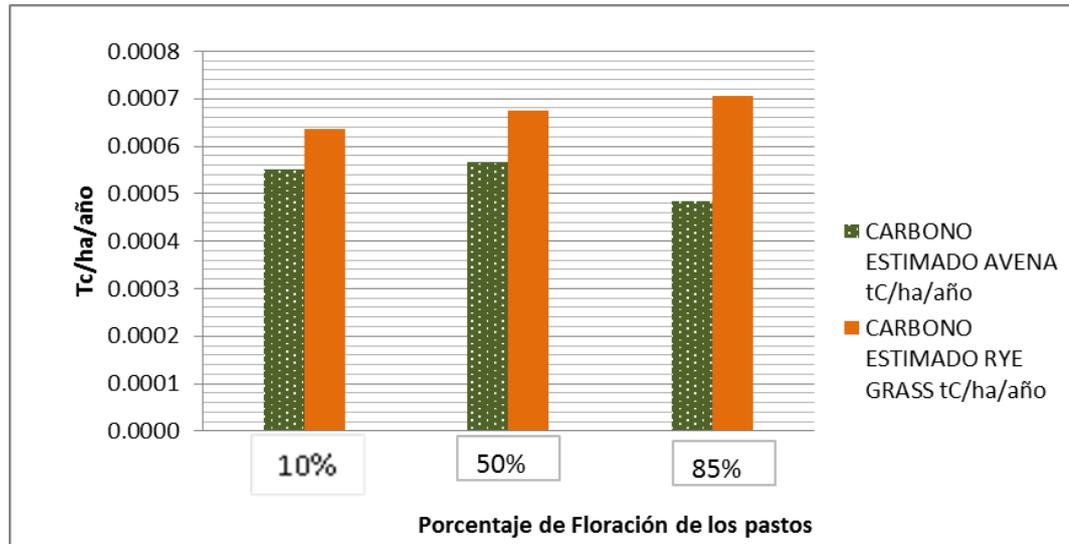
Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > t
Y	Combinado	Equal	4	-2.12	0.1012
Y	Satterthwaite	Enequal	4	-2.12	0.1012

Equality of Variances

Variable	Método	Num F	Den F	F-Valor	Pr > F
Y	Folded F	2	2	1.00	1.00

En el análisis de varianza mediante la prueba de “t” Studen, nos indica que la probabilidad de obtener un valor de F= 1.00 es igual (1.00) lo que indica que acepta la hipótesis H_0 , puesto que la probabilidad $Pr = 0.1012 > \alpha = 0,05$. Por lo tanto hay diferencias entre los dos promedios de captura de carbono en la biomasa radicular de los dos sistemas de pastos de avena y rye grass.

Gráfico 7, Determinación de carbono en la biomasa radicular de dos sistemas de pastos de avena y rye grass



En el Gráfico 7, se puede mostrar que los contenidos de carbono en la biomasa radicular de los sistemas de pastos varían entre 0,0005 a 0,006 tC/ha/año para los sistemas de avena y de 0,0006 tC/ha/año a 0,0007 tC/ha/año para rye grass de acuerdo estado floración al 10 %, 50 % y 85%; Al realizar el análisis de varianza ($p > 95\%$) con la prueba de t de Student, se encontraron diferencias estadísticamente significativas, mostró que las especies en la biomasa radicular son diferentes siendo los sistemas de pastos de rye grass en sus tres estados de floración que mostraron mayor acumulación de carbono, debido que el rye gras presenta un sistema radicular muy denso pero superficial, desarrollándose en los primeros 20 centímetros del suelo por lo que no tolera el anegamiento superficial, soporta pisoteo, heladas y es buena competitiva contra otras especies, estos factores ayudan a incrementar en buena medida la acumulación de carbono, ya que pueden redistribuir el carbono en las capas más profundas del suelo (Fisher, 1994).

4. Determinación de carbono total en biomasa total (aerea y radicular) en dos sistemas de pastos mejorados de avena y rye grass

Análisis de varianza de determinación de carbono total en biomasa total (aerea y radicular) en dos sistemas de pastos mejorados de avena y rye grass

T- TEST

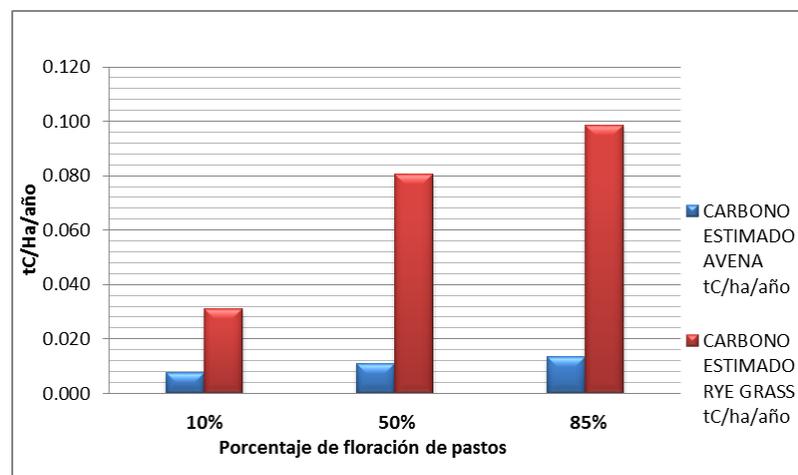
Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > / t /
Y	Combinado	Equal	4	-2.89	0.0446
Y	Satterthwaite	Enequal	2.03	-2.89	0.1001

Equality of Variances

Variable	Método	Num F	Den F	F-Valor	Pr > F
Y	Folded F	2	2	137.30	0.0145

La prueba de t Studen nos indica que la probabilidad de obtener un valor de $F = 137.30$ es muy alto que (0.0145) lo que indica que se rechaza la hipótesis H_0 , puesto que la probabilidad $Pr = 0.0145 < \alpha = 0,05$. Por lo tanto hay diferencias entre los dos promedios de captura de carbono en biomasa aerea y biomasa radicular de los sistemas de pastos de avena y rye grass.

Gráfico 8. Determinación de carbono en biomasa total de dos sistemas de pastos



En el gráfico 8, se observa el promedio del contenido de carbono de la biomasa aérea y radicular de los sistemas de pastos, se destaca que el sistema de pastos de rye grass tienen mayor capacidad de capturar carbono en la biomasa total (aérea y radicular) variando de 0.0306 tC/ha/año a 0.0987 tC/ha/año sobre la avena de 0.0076 tC/ha/año a 0.01135 tC/ha/año, en los tres estados de floración, el resultado se explica porque el rye grass es una especie perenne, con mayor vigor y desarrollo sobresaliente de la planta de cobertura densa con mucho follaje, considerado que en capta mayor carbono en biomasa aérea, se suma a este aporte que es especie con sistema superficial constituyen una opción para incrementar en buena medida la captura de carbono, ya que pueden redistribuir el carbono en las capas más profundas del suelo (Zermeño, 2011).

5. Determinación de carbono total en el suelo de dos sistemas de pastos mejorados de avena y rye grass

Análisis de varianza de determinación de carbono total en el suelo de dos sistemas de pastos mejorados de avena y rye grass

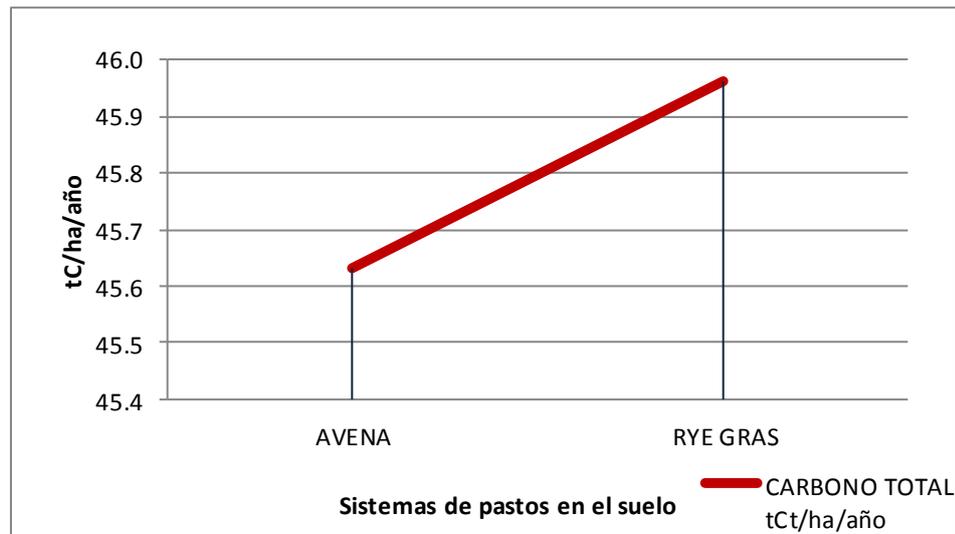
T- TEST					
Variable	Método	Variaciones	DF	Valor t	Pr > t
Y	Combinado	Equal	4	-0.31	0.7717
Y	Satterthwaite	Enequal	3.64	-0.31	0.7732

Equality of Variances					
Variable	Método	Num F	Den F	F-Valor	Pr > F
Y	Folded F	2	2	1.91	0.6867

La prueba de t Studen nos indica que la probabilidad de obtener un valor de F= 1.91 es muy alto que (0.6867) lo que indica que acepta la hipótesis H₀, puesto que la probabilidad Pr = 0.6867 > α = 0,05. Por lo tanto hay diferencias entre los dos

promedios de captura de carbono en el suelo de los sistemas de pastos de avena y rye grass.

Gráfico 9. Determinación de carbono total en el suelo de dos sistemas de pastos de avena y rye grass



En el gráfico 9, se presenta el carbono total acumulado en el suelo, por cada uno de los sistemas de pastos de avena y rye grass, en donde se observa que el sistema de rye grass supera al sistema de avena, siendo de 45,96 t C/ha/año, en el análisis de varianza al realizar la prueba de t de Student hay diferencias significativas.

Ávila (2001), encontró que más del 89% del carbono almacenado en los sistemas pastos corresponde al carbono del suelo; éste varió entre 99.9% (84 t C ha^{-1}) en una pastura natural de ratana, estos datos junto con los valores de carbono encontrados en los sistemas de pastos del presente estudio ponen en evidencia la importancia del suelo en almacenamiento del carbono.

en el uso de la tierra Este resultado ponen en evidencia la importancia del suelo es debido a que el rye grass es un cultivo que presenta un periodo vegetativo corto

que llega hasta cinco cortes al año que duplica la producción de biomasa aérea e incrementaría el carbono y el nitrógeno del suelo en 20 % (Zermeño, 2011).

f. Determinación de Carbono total en dos sistemas de pastos

Análisis de determinación de carbono total en dos sistemas de pastos mejorados de avena y rye grass

T- TEST

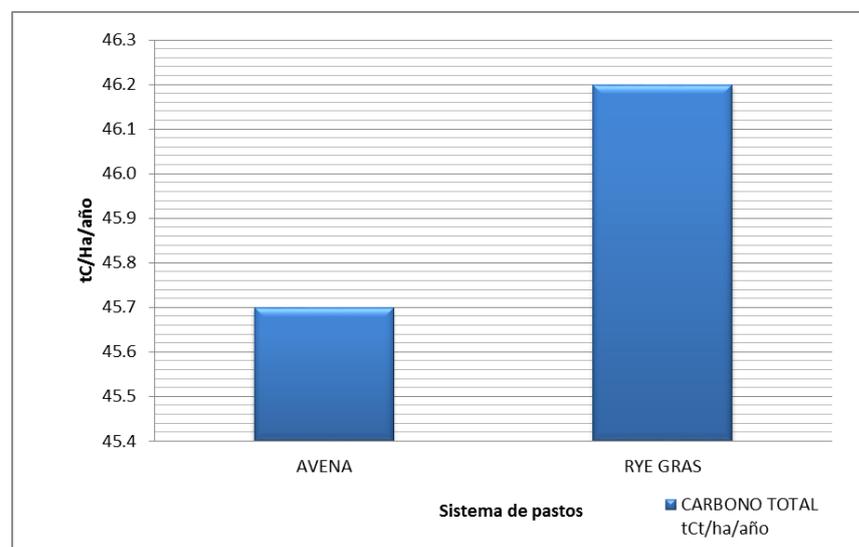
Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > t
Y	Combinado	Equal	4	-0.44	0.6827
Y	Satterthwaite	Enequal	3.48	-0.44	0.6859

Equality of Variances

Variable	Método	Num F	Den F	F-Valor	Pr > F
Y	Folded F	2	2	2.26	0.6129

La prueba de t Studen nos indica que la probabilidad de obtener un valor de F= 2.26 es muy alto que (0.6129) lo que indica que acepta la hipótesis H₀, puesto que la probabilidad Pr = 0.6129 > α = 0,05. Por lo tanto hay diferencias entre los dos promedios de captura de carbono en los sistemas de pastos de avena y rye grass.

Gráfico 10. Determinación de carbono total de dos sistemas de pastos



En el gráfico 10, se exponen las estimaciones de captura de carbono total de los sistemas de pastos mejorados, en el sistema de pastos rye grass presenta mayor cantidad de carbono total acumulado con 46,2 t C/ha/año en los tres estados de floración al 10%,50% y 85%, que el de avena con 45,7 t C/ha/año. Así mismo en el análisis de varianza mediante la prueba de “t” de Student se encontró que hay diferencias entre los promedios de captura de carbono de los sistemas de pastos de avena y rye grass con la probabilidad $Pr = 0.6129 > \alpha = 0,05$. Por lo tanto esto se debe a que el sistema de pastos de rye grass tiene plantas que presenta un denso follaje y con un periodo vegetativo corto por ser perenne y además tiene varios cortes al año; en cambio el pasto de avena es anual que cuando las plantas son tiernas presenta menor contenido de materia seca que las que están en las últimas fases de desarrollo (Flores, 1989). Así mismo se considera que los sistemas de avena que son cultivos anuales de ciclo corto, poseen un ciclo continuo de iniciación, crecimiento y muerte de unidades individuales (tallos aéreos, estolones), las cuales generan materia orgánica (Trujillo, 2000).

Los suelos son la mayor fuente y reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres, y son la vía principal por la cual el CO₂ fijado por las plantas es retornado a la atmósfera., la emisión de CO₂ de los suelos a la atmósfera ocurre principalmente por la respiración de raíces y organismos heterótrofos (Palacio y Hurtado, 2008).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Al estimar la captura de carbono CO₂ en dos sistemas de pastos en rye grass y avena, el más eficiente fue el de rye grass con 169,55 t CO₂-e/ha/año, que el de avena con 167.72 t CO₂-e/ha/año.

Respecto al carbono total acumulado en los sistemas de pastos, el rye grass y avena en sus tres estados de floración al 10%, 50% y 20%, hubo diferencias significativas, presentando mayores niveles de carbono total 46,2 t C/ha/año en rye grass, seguido de avena con 45,7 t C/ha/año; asimismo el carbono acumulo en el suelo para ambos sistemas es mayor respecto a la biomasa aérea y biomasa radicular.

Los suelos de los sistemas de rye grass y avena, son depósitos importantes de carbono total: 45,9 y 45.6 t C/ ha/año, respectivamente.

El carbono acumulado en el suelo, de acuerdo a su profundidad, en los dos sistemas de pastos en rye grass y avena a profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm fueron similares con 14,7 y 15,4 t C/ ha/año, presentando mayor variación en las profundidades de 20 a 50 cm con 15,5 y 15,9 t C/ ha/año.

Al nivel del carbono acumulado en la biomasa total (aerea y radicular) al 10, 50, y 85% de floración los sistemas de rye grass, se determinó un contenido 0,0076; 0,116 y 0,0135 t C/ ha/año; Mientras que en los sistemas de pastos de avena de 0,0306; 0,807 y 0,0987 t C/ ha/año, respectivamente, existiendo diferencia significativa entre los dos sistemas de pastos.

El carbono acumulado en la biomasa radicular en los dos sistemas de pastos no presentaron variación al 10 % de floración siendo 0,0006, pero si al 50 y 85 %; siendo el mayor en rye gras con 0,0006 y 0,0007 t C/ha/año al 50 y 85 % de floración, seguido el de avena con 0,0005 y 0,0006 t C/ha/año al 50 y 85 %.

El carbono acumulado en la biomasa aérea en los dos sistemas de pastos fueron diferentes, presentando variaciones de 0,013 a 0,098t C/ha/año. Siendo mayor en rye gras con 0,098 t C/ha/año, seguido el de avena con 0,013 t C/ha/año al 85 % de floración.

RECOMENDACIONES

- A las autoridades de las instituciones competentes, se recomienda continuar con este tipo de trabajo a fin de obtener una data sobre captura de carbono en vegetación de la zona de Cajamarca y considerar la valoración del servicio ambiental que nos proporcionan los sistemas de pastos.
- A las autoridades y alumnos de la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se recomienda realizar trabajos de investigación sobre captura de carbono en sistema de pastos o especies forestales para proponer alternativas de mitigación a las emisiones de gases de efecto invernadero y servicios ambientales.

LISTA DE REFERENCIAS

Arias, K; Ruiz, C; Milla, M; Fabio, H; Escobar, A. 2001. Almacenamiento de Carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales en Yaracuy, Venezuela. Livestock Research for Rural Development. Vol 13, Numero5. En línea: (www.cipav.org.com. Consultado: 20 Octubre 2011).

Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional. 2005. Los Bosques Tropicales y Los Cambios Climáticos. Québec, Canadá. [En línea]: RCFA,(www.rcfa-cfan.org/spanish/s.issues.13.htm,consultado: 15 Junio. 2012)

Alegre, Ricse A., Arévalo L., Barbarán J. & Palm, C. 2000. Reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en la amazonia peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU). Boletín informativo 12:8-9. En línea: (<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/1184/1/0000811.pdf>.Junio.2013).

Arévalo L. J, Palm, C. 2003. Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. Ediciones Gráfica Miguel Álvarez. Lima – Perú. Ecol. apl. v.3 n°.1-2. En línea: (http://www.scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-221620040001006.Junio 2013).

Ávila, Gabriela; Jiménez, F.; Beer, J.; Gómez, M. & Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. Vol 8,Nº 30, 32. En línea: (http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942007000400007&script=sci_arttext: Consultado Junio 2013).

Avila J; Arévalo L; Rice A; 2004. Reservas de Carbono en diferentes sistemas de uso de tierra en la amazonia peruana. Consorcio para el Desarrollo sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo.12:8-9 p.

Anderson, J. 1991. The effects of climate change on decomposition processes in grassland and coniferous forests. *Ecological Applications*. 1: 326-347p.

Black, C.C. 1986. Effects of CO₂ concentration on Photosynthesis and Respiration of C₄ and CAM Plants. In: H.Z. Enoch and B.A. Kimball (Eds.). *Carbon Dioxide Enrichment of Greenhouse Crops. Volume II. Physiology, Yield, and Economics*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Fla. USA. 29-40 p.

Barrow, E, Davies J, Berhe S, Matiru V, Mohamed N, Olenasha W, Rugadya M. 2007. Pastoralists' species and ecosystems knowledge as a basis for land management. Oficina Regional de la UICN para África Oriental, Documento de Políticas N° 3, UICN: Nairobi.

Batet, S., Rovira, S. 2002. Cambio Climático. Departamento de Sostenibilidad del Centro UNESCO de Catalunya. [En línea]: (One world, <http://es.oneworld.net/article/archive/5728/>, 15 Setiembre. 2012).

Bolin, B., Doos, B., Jager, J., Warrick, R. 1996. The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosistemas. [En línea]: (<http://www.biomeso.net/bancoconocimiento/Cambioclimático>, 06 Setiembre. 2012).

Botero, J. A. 1999. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. *Agroforestería Tropical*. Inf. 10 p.

Brown, S., y S. A.E. Lugo. 1992. El almacenamiento y la producción de materia orgánica en los bosques tropicales y su papel en el ciclo global del carbono. *Biotropica*. 14:161-187p.

Boukhari, S. 2000. Bosques y Clima: Intereses en Juego. [En línea]: UNESCO, (<http://www.unesco.org/courier/199912/sp/planete/txt1.htm>, 29 Dic. 2012)

Catriona, P. 1998. Actualidad Forestal Tropical. Boletín de Manejo Forestal Producido por la Organización de Maderas Tropicales para Fomentar la Conservación y el Manejo Sostenible de los Recursos Forestales tropicales en la región de América Latina y el Caribe (Japón). Vol 6, Número 4. 31 p.

Castellanos, J; .M. Mass and J. kummerow. 1991, root biomas of a dry deciduos tropical fores in México. Plant. And soil. 131. 225 – 228 p.

Castro, R. 2005. El Mercado del Carbono: Los Bosques, la Mejor Opción. [En línea]: CDM, (www.cdmcentral.com,16 Febrero. 2012).

Candela, M; 2004. Anabolismo: Fotosíntesis y Quimiosíntesis, 26p. [En línea]. [Citado 15 Abril, 2012].Disponible en la world Wide Web. (htt//www, Scielo.php?scrot=sci_arttext&pid. 17 mayo. 2012).

Calistro, E; 2012. Calculo Práctico de Forraje Disponible.7p. [En línea]. Disponible en la world Wide Web. (http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/articulos/calculo-practico-forraje-disponible-t4133/p0.htm. 27 mayo. 2012).

Centro Hadley. 2002. El Efecto Invernadero. [En línea]: BBC,(<http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/.html>, 05 Setiembre.2012).

Concha, J; Alegre J; Pocomucha, V. 2007. Determinación de Reservas de Carbono en sistemas agroforestales de Teobroma cacao L. En el departamento de San Martín, Perú. Ecol.apl.6(1-2):75 – 82p. [en línea]. (World Wide Web <http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v6n1-2pdf>> ISSN1726- 2216,17 Septiembre 2012).

Conant, R, Paustian, K y E Elliott. 2001. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. Ecological Applications. 11(2): 343-355 p.

Chávez, J. 2000. Guía para producir forraje de avena y cebada bajo temporal en la costa de ensenada. 8P. [en línea]. (Disponible en PDF, la Web: http://www.forraje.inia/cereales_avena, 31 Julio 2012).

Chambi, C. P. 2001. Valoración Económica de Secuestro de Carbono mediante simulación aplicada a la zona boscosa del rio Inambari y Madre de Dios. 25 p. [en línea]. (PDF, la Web http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposiocarbono/25_Chambi, 13 Abril 2012)

Deza, M; Escalante, B. Dávila Luis D. 2010. Cuantificación de las reservas de carbono en dos especies de *Polylepis* en Cajamarca, Perú. Publicación Revista Científica FIAT LUX. Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca. Vol.6 (2). 51-58 p.

De Morales, J., Volkoff, B., Cerri, C., Bernoux, M. 1996. Soil Properties Under Amazon Forest and Changes due to Pasture Installation in Rondonia. Brasil. 81 p.

Depledge, J. 2002. Climate Change in Focus: Report. [En línea]: INE, (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros.html>, 29 julio. 2013).49p.

Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. 2010. Monografía de la Avena y Semilla de Avena para Siembra.8p. (en línea).(<http://www.google.com.pe/#bav=on.2,or.&fp=2e58&q=rendimiento+de+cultivo+de+avena+forrajera>, consultado el 22 de Julio del 2013)

Dupouey, J., Siguand, G., Bateau, V., Thimonier, A., Dhole, J. F., Nepveu, G. 1999. Stocks et Flux de Carbone Dans les Forêts Françaises. C.R. Acad. Agric. Francia. 310 p.

Espinoza, Y. 2005. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela: Secuestro de Carbono en el Suelo (en línea). (http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n7/arti/espinoza_y/arti/espinoza_y.htm, consultado el 12 de Julio del 2013)

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2006: Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe de Síntesis, Washington DC: World Resources Institute, Island Press.

Frankhauser, S y D. W; Pearce. 1994. The Social costs, of greenhouse gas emission.

FAO. 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂. *World Soil Resources Reports* 88. Rome. 98 p.

FAO, Food Agricultural Organization. 2002. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Informes Sobre recursos Mundiales de Suelos.

Fisher, M. J.; Rao, I. M.; Ayarza, C. ; Vera, R. R. 1994. Carbon storage by introduced de ep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*. V 31: 236-238p.

Fisher, M. & Trujillo, W. 2000. Fijación de carbono por pastos tropicales en las sabanas de los suelos ácidos neotropicales. En: *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales*. (Eds. C. Pomareda y H. Steinfeld). CATIE/FAO/SIDA. San José, Costa Rica. 115p. [En línea]: (<http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v30n4/pyf07407.pdf>). consultado en 15 de Junio 2013

FONAM (Fondo Nacional Del Ambiente). 2006. El Cambio Climático. [En línea]: FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/cambio.asp>, 20 Set. 2012).

FAOSTAT, 2005. Data base of Food and Agricultural Organization (en línea). Consultado 25 ene. 2005. Disponible en <http://faostat.fao.org>.

Fonseca G, W. et al. 2008. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque*, v.30, n.1, p.36-47 p.

Flores M; J. A. 1989. *Bromatología Animal*. 3ª Edición. Editorial Limusa. México. 1096.

Giraldo; A. 2000. Sistemas silvopastoriles, alternativa sostenible para la ganadería en Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. PRONATTA–CONISILVO.12p.[En línea],[Citado 12 marzo 2012]. (World Wide Web. http://search.softonic.com/b_v1?q=captura+de+carbono+en+pastos&ce=10)

Global Climate Change Information Programme (GCCIP). 1997. Cambio Climático. [En línea]: DOCMMU, (<http://www.docmmu.ac.uk/>, 24 Set. 2012).

Heller, T. C. y P. R. Shukla. 2003. Development and Climate. Beyond Kyoto: Advancing the International Effort against Climate Change. (Working Draft). Washington: Pew Center.

Houghton, R., Skole, D., Nobre, C. 2000. Annual Fluxes of Carbon from Deforestation and Regrowth in the Brazilian Amazon. [En línea]: MME,(www.mme.gov.br,06 Diciembre. 2006).

Hungate B, Holland E, Jackson R, Chapin F, Mooney H y C Field. 1997. The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. *Nature* 388: 576–579 p.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 1999. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook and Reference Manual Revised version 1996.UNEP WMO. Modulo (1, 4, 5).

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2000. LandUse, Change and Forestry. Cambridge University Press. Cambridge,Reino Unido. [En línea]: EIA, (<http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html>,24 Febrero. 2012).

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 1990. Climate Change : The Scientific Basis. Contribution of WorkingGroup I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary. Cambridge: WMO-UNEP.Cambridge University Press. [En línea]: INE, (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/437/arvizu.html>,24Feb. 2012).

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2001. Los Sumideros de Carbono [En línea]: CESCYL, (www.cescyl.es/pdf/coleccionestudios/Pkioto.pdf, 14 Oct. 2012).

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2004. Good practice guidance for land use, land use change and forestry, disponible en línea. (www.gio.nies.go.jp/www/wgia/wg2/pdf/2_8_1425.pdf).

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2007. Strategies para mitiguen the effectors of cambium climatic, disponible en línea. (<http://www3.inacol.edu.mx/maduver/index.php/cambio-climatico/6-estrategias.html>).

INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil).2006. Compendio Estadístico de Emergencias 2001.

Kimball B.A., Kobayashi K., Bindi M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment, Adv. Agron. 77,293–368p. [En línea]. (http://www.google.com.pe/#sclient=psyab&rlz=1R2ADFA_esPE482&q=determinaci%C3%B3n+de++carbono+en+el+suelo+en+pastos++avena+&rlz=1304ed689cc8&biw=1218&bih=660, citado 15 julio 2013).

Lapeyre, T; Alegre, J; Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Ecol.apl.3 (1-2):35-44p. [En línea]. [Citado 15 Octubre 2011]. Disponible en la world Wide Web. ([http://www, Scielo, php? Scrot=sci_arttext&pid](http://www.Scielo.php?Scrot=sci_arttext&pid), 14 Setiembre. 2012).

Language Centers - LAL, R. 1999. Global Carbon Pools and Fluxes and the Impact of Agricultural Intensification and Judicious land Use. World Soil Resources Report 86.FAO. Roma. 45 - 52 p.

León, R; 2003. Pastos y forrajes, producción y manejo.1ª edición, editorial científica Agustín Álvarez. Quito, Ecuador .1-51p.

Loguercio, G. 2005. Cambio Climático: El Rol de los Bosques Como Sumideros de Carbono. Secretaría Académica - CIEFAP. [En línea]: CIEFAP, (www.ciefap.org.ar/novedades/notas/nota1/default.html, 05 Junio. 2012).

McVay, K.A., y C.W. Rice. 2002. Carbono orgánico del suelo y ciclo global del carbono Universidad del Estado de Kansas, Estados Unidos de Norte América. (en línea). (<http://www.ksre.ksu.edu/library/crpsl2/mf2548s.pdf>), Consultado el 5 de Julio del 2013.

Márquez, L. 2000. Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono, en Uso del Suelo. Fundación Solar. Guatemala. 31p. [En línea]. [Citado 15 Octubre 2011]. Disponible en la world Wide Web. ([http://www, Scielo.php?scrot=sci_arttext&pid](http://www.Scielo.php?scrot=sci_arttext&pid), 05 Junio. 2012)

Marquez, T. 2005. Cálculo de Biomasa y Captura de Carbono en Cuatro Sistemas Agroforestales de Café con Sombra, en Tarapoto. Informe de Prácticas Preprofesionales. Fac. Recursos Naturales Renovables: Mención Forestales. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 66p. [En línea]. Disponible en la world Wide Web. (http://www, Scielo.php?scrot=sci_arttext&pid), citado 15 Octubre 2011.

Martínez-Ballesta, M.C., Lopez-Perez, L. Muries, B, Muñoz-Azcarate, O., Carvajal, M. (2009) Climate change and plant water balance. The role of aquaporins. Sustainable Agricultural Reviews (E. Lichtfouse, Ed.) Vol 2, 71-89. [En línea]. Disponible en la world Wide Web. (http://www.google.com.pe/#sclient=psydeterminaci%C3%B3n+de++carbono+en+el+suelo+en+pastos++avena+&_%C3%B3n+en+pastos), Citado 15 julio 2013.

Masera, O.R.2007. “Consolidación de la Oficina de Mexicana de mitigación de gases efecto invernadero. /46-110 (P/3197). Instituto Nacional de Ecología. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, [En línea]. Disponible en la world Wide Web. (<<http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/cofimexforestal.pdf>), Citado 15 marzo 2014.

Martino, D. 2006. Los Sumideros de Carbono en el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto.

Montoya, G., L. Soto, Ben de Jong, K. Nelson, P. Taylor y R. Tipper. 2000. Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4. México, D.F.

Minami, K; Goudriaan, J; Lantinga, E; Kimura, T; Baker, M. 1993. Significance of grasslands in emission and absorption of greenhouse gases. Grasslands for our world. Nueva Zelanda.49p.

Nair PKR, Nair VD, Kumar BM, Haile S. 2009. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. Environment Science & Policy, doi: 10.1016/j.envsci.2009.01.010. [En línea]. [Citado 15 Julio 2013]. (<http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Revista/Vol.10N2Art.10.pdf>)

Olgún, M. 2001. Incorporación de la captura de carbono como propuesta de manejo forestal integral: Estudio de caso en una comunidad de la Meseta Purépecha. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. 73 p.

Oliva, M. y F. García-Oliva. 1998. Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global. Educación Química. UNAM. México.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Vol. 96. 70 p. Disponible en línea: (http://www.fao.org/documents/show_cd.)

Ordóñez, A. 1999. Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México DF.

Ordóñez, D., J.A.B y O,Masera.200|. Captura de carbono ante cambio climático.Madera y Bosquez 7(1):3-12

Ortíz, A; Riascos, L. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Teobroma cacao L.*) y laurel (*Cordia alliodora*) en la Reserva indígena de Talamanca. Agroforestería de las Américas.33-62 p.

Palomino, D; Cabrera, C. 2007. Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo, Perú. Revista Inst. Invest. Fac. mimas metal cienc.geogr.10 (20). 49-59p. [en línea]. [Citado 17 Octubre 2011].Disponible en

World Wide la Web:(<http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v10n20/a07v10n20.pdf>>ISSN)
0378-1844p.

Palacio A A R, F H M Hurtado. 2008. Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios en Colombia. Rev. Fac. Nal. Agron. Medellín 61:4381– 4393 p.

Parton W J, Scurlock J M O, Ojima D S, Schimel D S y Hall D O. 1995. Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. Global Change Biology 1: 13–22 p.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2008. UNEP Risoe CDM/JI Pipeline Análisis and Database” [en línea]:(<http://cdmpipeline.org>), fecha de consulta: 8 de Junio 2013.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2009. Reducción de gases efecto invernadero. En línea] :(<http://cdmpipeline.org>), fecha de consulta: 15 de agosto 2013.

Ramírez, J. 2012. Secuestro de Carbono en plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill*). Proyecto de tesis Fac. Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. Ecuador. 155p. [En línea]. Disponible en la world Wide Web. (<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2035/1/03%20FOR%20%20209%20TE SIS%20JORGE%20RAMIREZ.pdf>), citado 15 Mayo 2014.

UNFCCC (Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático).
2008. Analysis of existing and planned investment and financial flows relevant to the development of effective and appropriate international response to climate change. Disponible en línea (http://unfccc.int/cooperation_and_support/financial_mechanism/items/4053pp).

Saavedra, M.C. 2002. Comparación entre métodos de estimación de disponibilidad de materia seca en praderas naturales de la VI Región. Proyecto Fin de Carrera. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Zootecnia.

Sanchez, P., Buresh, R., Leakey, B. 1999. Trees, Soils and Food Security. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>, 05 Enero. 2012).

Santa Cruz, B; J. 2004. Estimación de la Biomasa Forestal para la Captura de Carbono. Practicas Pre- Profesionales FF.CC.AA, UNC, 39p.

Sofo, A., Nuzzo, V. Palese, A.M., G. P. Zukowsky, Dichio. B. 2005. Almacenamiento Neto de CO₂ en el Mediterráneo oliva y melocotón huertas. SCI. Hortic. (107):17–24p. [Citado 27 Octubre 2011]. Disponible en World Wide la Web: (http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v10n20/a07v10n20.ISSN_0375-1853).

Schroeder, P. 1994. Sistemas agroforestales tropicales. [En línea]: (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>, 05 Enero. 2013). 89-97 p.

Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C, 2006. Livestock's Long Shadow. FAO: Roma
Stern N. 2007. The Economics of Climate Change. CUP: Cambridge.

Steudle E., Peterson C. 1998. How does water get through roots? J. Exp. Bot 49, 775-788p.

Taiz, L; Zeiger, E. 1998. Plant physiology. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc., Publishers. [En línea]: (https://www.google.com.pe/?gws_rd=cr&ei=zIGFUf1BYzlsAT5gIHgDA#q=La+captura+de+carbono+se+efect%C3%BAa+en+los+ecosistemas+forestales+mediante+Taiz+y+Zeiger%2C+1998+05,+Febrero.+2013.)). 15 p.

Trumbmore, S.E. y E.R.M. Druffel. 1995. Carbon Isotopes for Characterizing Sources and Turnover of Non-living Organic Matter. In the Role of Non-living Organic Matter in the Earth's Carbon Cycle. R.G. Zepp y Ch. Sonntag. Editores. Wiley, Chichester. 7-22 p.

Trumper K, M Bertzky, B Dickson, G Van der Heijden, M Jenkins, P Manning. 2009. La Solución Natural? El Papel de los Ecosistemas en la Mitigación del Cambio Climático. Informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 76 p.

Tennigkeit, T y Wilkes A. 2008. Las Finanzas del Carbono de los Pastizales (Una evaluación del potencial en los pastizales comunales). Kunming, China. 38 p.

UNFCCC. 2007. Analysis of existing and planned investment and financial flows relevant to the development of effective and appropriate international response to climate change. Disponible en http://unfccc.int/cooperation_and_support/financial_mechanism/items/4053.ph.

UNESA, 2005. Forestación y Reforestación. Sumideros de Carbono. En: Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica. Rivero Torre, Pedro, León, Gonzalo, Eichhamer, Wolfgang, Deputy, Gázquez Mateos, José Luis, González Santaló, José Miguel, Ferrando Bravo, Gerardo, Cisneros Gárate, Pablo, Pérez Pallarés, Diego. Capítulo 8.

Vargas, V; C.2011. Evaluación de diferentes dosis de Enmiendas Húmicas en la producción Primaria de Forraje del *Lolium perenne* (RYE GRASS). RIOBAMBA-ECUADOR. 192 p.

Veldkamp, E. 1997. Fijación de Carbono, Emisión de Metano y de Oxido Nitroso en Sistemas de Producción Bovina en Costa Rica. Enviado a Global Biogeochemical Cycles.

Vidal, M. 2012. La Deforestación es la Segunda Causa de Emisiones de CO₂, por Encima del Transporte. Londres. Global canopy ,(http://www.globalcanopy.org/vivocarbon/ForestsFirst.pdf, 10 Jun. 2012).

White R, Murray S y M Rohweder. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems Grassland Ecosystems. Instituto de Recursos Mundiales: Washington D.C.

Woomer P.L., Palm C.A., Alegre J., Rodrigues V. & van Noordwijk M. 2000. Slash-and-burn effects on carbon stocks in the humid tropics. Edited by In: R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart. Global Climate Change and Tropical Ecosystems.: 99-115. CRC Press, Inc. Boca Raton, FLa. USA. Citado en (<http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=scitte=S1726-22162004000100006>).

Zamora, J. 2003. Estimación del Contenido de Carbono en biomasa aérea en el bosque de Pino del Ejido “La Majada” Municipio de Periban De Ramos, Michoacán. Tesis de Licenciatura U.M.S.N.H. Michoacán México. 47 p.

Zamora, Z. 2013. Alternativas para mitigar emisiones de gases efecto invernadero en fincas ganaderas lecheras andinas del departamento de Nariño. Tesis de Especialización en Gestión Ambiental. U. T. P. México. 95p. Citado en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3630/1/363738746Z25.pdf>.

Zermeño, Gonzales; Ríos, J.; Gil, J.; & Villareal, M. 2011. Dinámica del flujo de bióxido de carbono y de energía sobre el pastizal natural del norte de México. Bioagro.

23(1):35-42p. [En línea]:(http://scielo.sld.cu/scielo39420&script=sci_arttex): Consultado agosto 2013.

ANEXOS

1. FICHAS DE EVALUACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA ESCUELA DE POST GRADO

TESIS: “DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DEL CARBONO EN DOS SISTEMAS DE PASTOS MEJORADOS EN EL DISTRITO DE SAN SILVESTRE DE COCHÁN PROVINCIA DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA ”

EVALUACIÓN DE CAMPO Y LABORATORIO

Cuadro 1. Ficha de evaluación de la biomasa aérea en *Avena sativa* L (avena)

N° de muestra	% de floración	peso fresco		% materia seca
		biomasa aérea (g)	biomasa aérea (g)	
M1	10 %	200	61,8	30,9
M2		200	57,6	28,8
M1	50 %	200	54,4	27,2
M2		200	51,0	25,5
M1	85 %	200	48,2	24,1
M2		200	49,6	24,8

Cuadro 2. Ficha de evaluación de biomasa aérea en *Lolium multiflorum* Lam (rye grass)

N° de muestra	% de floración	peso fresco		% materia seca
		biomasa aérea (g)	biomasa aérea (g)	
M1	10%	200	49,6	24,8
M2		200	46,8	23,4
M1	50%	200	57,2	28,6
M2		200	62,6	31,3
M1	85%	200	69,2	34,6
M2		200	69,0	34,5

Cuadro 3. Ficha de evaluación de biomasa radicular en *Avena sativa* L(avena)

N° de muestra	% de floración	peso fresco			peso seco			% materia seca
		Planta completa (g)	raíz (g)	tallo (g)	Planta completa (g)	raíz (g)	tallo (g)	
M1	10 %	20,3	4,8	15,5	11,2	3,2	8,2	55,2
M2	50 %	58,8	15,8	43,0	21,0	7,4	13,6	35,7
M3	85 %	61,9	13,8	48,1	23,6	6,7	16,9	38,1

Cuadro 4. Ficha de evaluación de biomasa radicular en *Lolium multiflorum* Lam (rye grass)

N° de muestra	% de floración	peso fresco			peso seco			% materia seca
		planta completa (g)	raíz (g)	tallo (g)	planta completa (g)	raíz (g)	tallo (g)	
M1	10 %	75,0	14,2	60,8	14,1	4,5	9,6	18,8
M2	50 %	38,8	11,2	27,6	18,1	8,8	9,3	46,6
M3	85 %	60,0	11,5	48,5	31,1	8,9	22,2	51,8

Cuadro 5. Ficha de evaluación de peso de suelo *avena sativa* L (avena)

N° muestra de suelo	peso fresco (g)	peso seco (g)	profundidad de horizonte (cm)	densidad aparente (g/cm ²)	volumen suelo (cm ³)/ha	peso del suelo (g)	peso total del suelo (g)	peso de suelo t/ha/año	factor de carbono (FC)	carbono del suelo t/ha/año
M1(0 A 10 cm)	500	296,0	10	0,7	201	1,4706	294,53	29,5	0,5	14,7
M2(10 A 20 cm)	500	309,5	10	0,5	168	1,8373	307,66	30,8	0,5	15,4
M3(20 A 50 cm)	500	317,0	30	0,2	48	6,5574	310,44	31,0	0,5	15,5

Cuadro 6. Ficha de evaluación de peso de suelo de en *Lolium multiflorum* Lam (rye grass)

N° muestra de suelo	peso fresco (g)	peso seco (g)	profundidad de horizonte (cm)	densidad aparente (g/cm ²)	volumen suelo (cm ³)/ha	Peso del suelo (g)	peso total del suelo (g)	peso de suelo t/ha/año	factor de carbono (FC)	carbono del suelo t/ha/año
M1(0 A 10 cm)	500	295,0	10	0,7	202	1,4634	293,54	29,4	0,5	14,7
M2(10 A 20 cm)	500	309,4	10	0,5	168	1,8363	307,56	30,8	0,5	15,4
M3(20 A 50 cm)	500	325,0	30	0,1	47	6,8571	318,14	31,8	0,5	15,9

2. FOTOGRAFÍAS



Foto 1. Parcela de rye grass a 3600 msnm



Foto 2. Parcela de avena a 3600 msnm



Foto 3. Peso Fresco de biomasa aérea en rye grass



Foto 4. Peso fresco de biomasa aérea en avena

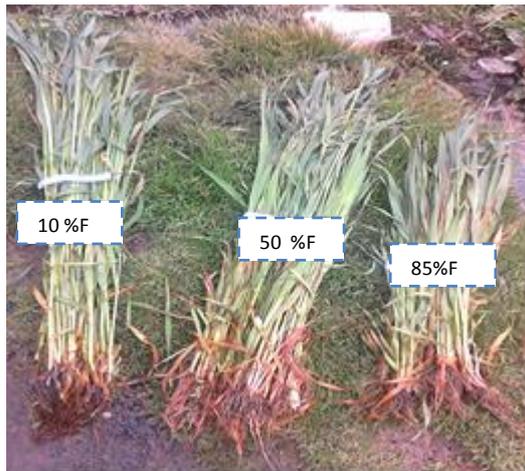


Foto 5. Muestra de avena al 10%,50% y 85% de floración

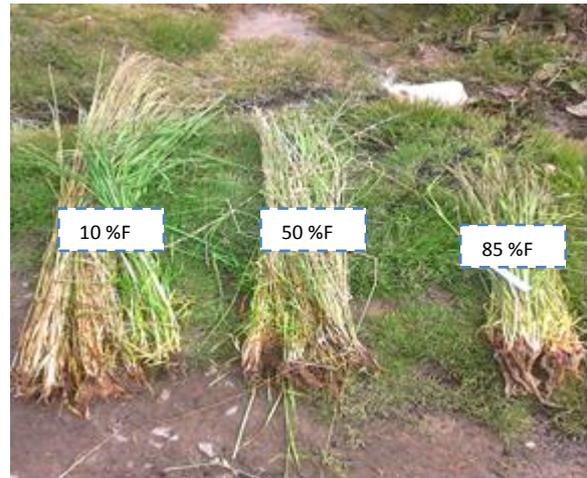


Foto 6. Muestra de rye grass al 10%,50% y 85% de floración



Foto 7. Peso de suelo en campo de rye grass



Foto 8. Peso de sistema radicular en campo de rye grass



Foto 9. Toma de muestra de biomasa aérea de rye grass



Foto 10. Peso de biomasa aérea en fresca de rye grass



Foto 11. Peso de muestras de materia seca de rye grass



Foto 12. Colocación de muestras de biomasa aérea de avena a la estufa



Foto 13. Retiro de muestras de avena de la estufa



Foto 14. Peso de muestra de sistema radicular de avena



Foto 15. Peso muestra de suelo en laboratorio

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE RAY GRASS Y DE AVENA

RAY GRASS

Según León, 2003 la taxonomía del cultivo de avena es

Taxonomía

Género: Lolium

Especie: multiflorum

Nombre científico: *Lolium multiflorum* Lam

Nombre vulgar: ray grass

Originario del Mediterráneo, sur de Europa, norte de África y Asia Menor, cultivada por primera vez en el norte de Italia. Actualmente esta especie se encuentra naturalizada en el Ecuador. Es de ciclo vegetativo anual, en condiciones favorables se comporta como bianual; Se adapta a clima templado húmedo, no soporta la sequía, se encuentra entre 2500 y 3600 metros de altitud, requiere de suelos de textura intermedia o ligeramente pesada, ricos en nitrógeno, pH óptimo entre 6 y 7 (León, 2003).

Responde bien a la fertilización. Los ray grasses son muy exigentes en humedad, especialmente los tetraploides para un normal desarrollo requieren de 12 a 25 milímetros de precipitación o riego por semana. A pesar de los altos requerimientos de humedad, los ray grasses son susceptibles a terrenos con capa freática superficial, encharcados o con exceso de humedad. En suelos pesados donde los ray grasses tienden a desaparecer, conviene sembrar esta especie para obtener buena producción aun cuando sea por corto tiempo (León. 2003).

Establecimiento por semilla botánica, al boleo de 30 a 40 kilogramos por hectárea en forma monofítica; también en surcos separados de 25 a 30 centímetros con 25 kilogramos por hectárea, asociado con 8 a 10 kilogramos por hectárea de leguminosas.

Se utiliza especialmente para corte, henificar o ensilar, también para pastoreo. Se acostumbra a incluirlo en pastoreos de corta duración (2 años) para alcanzar volumen rápidamente. Se le usa también en potreros de larga duración, con especies de lento crecimiento o desarrollo, para su aprovechamiento inmediato, hasta que las otras especies de la mezcla se hallen en estado de ser aprovechadas (León, 2003).

El rendimiento con cortes cada 28 a 30 días, rinde 120 toneladas por hectárea por año de forraje verde, correspondiente a 10 a 12 toneladas por corte. Buena productora de semilla, 600 a 700 kilogramos por hectárea. Valor nutritivo: variedades diploides contienen de 14 a 15 por ciento de proteína, y variedades tetraploides de 19 a 20 por ciento; ENN 38,04 por ciento. Variedad Magnum: Muy productivo 250 a 300 toneladas de forraje verde por año. Capacidad de carga 5 a 8 unidades bovinas por hectárea. Tolerante a la roya (León, 2003).

AVENA (*Avena sativa* L.)

Taxonomía

Género: Avena

Especie: sativa

Nombre científico: *Avena sativa* L

Nombre vulgar: avena

Es un cereal, procedente de Asia Menor, las variedades más utilizadas son el tipo hexaploide, principalmente *Avena sativa*, se adapta bien en climas fríos a clima templado húmedo, no soporta la sequía, se encuentra entre 2500 y 3600 metros de altitud, (León, 2003).

Según Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial, 2010. Describe que la avena es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas. Posee raíces más abundantes y profundas que las de los demás cereales; los tallos son gruesos y rectos, pueden variar de medio metro hasta metro y medio, están formados por varios entrenudos que terminan en gruesos nudos; las hojas son planas y alargadas; su borde libre es dentado, el limbo de la hoja es estrecho y largo; la flor es un racimo de espiguillas, situadas sobre largos pedúnculos y el fruto es en cariósipide, con las glumillas adheridas.

Así mismo la avena prospera en suelos con textura ligera a media, sin problemas de drenaje y con un pH de ligeramente ácido a neutro. Es muy sensible a la salinidad del suelo. Para producir grano, requiere más cantidad de agua y se puede cosechar para grano, forraje henificado o usar para pastoreo; dado que la avena tiene una mayor proporción de hojas, produce forraje de mayor calidad que la cebada cuando es cortado en la época adecuada, pero en estado de madurez es más tosco (Chávez, 2000).

Forrajera de alta productividad, especialmente en valles, zonas frías y húmedas. Se cultiva desde los 2000 a 4500 msnm; La avena forrajera de excelentes cualidades productivas y con un solo ciclo vegetativo corto de 90 días, utilizada para pastoreo, su rusticidad se traduce en no ser exigente en suelo, es tolerante a la sequía y resistente a fuertes heladas.

Los rangos de temperatura para su crecimiento y desarrollo son: temperatura óptima entre 25 a 31 °C, una mínima de 4 a 8 °C y una máxima de 31 a 37 °C. Por otra parte la tasa de germinación es mayor al 90% cuando la temperatura sobrepasa a los 7 °C, siendo el rango óptimo de 10 a 25 °C, se cultiva en suelos francos y franco arcillosos, generalmente a secano muy raras veces bajo riego. Se adapta a suelos con escasa fertilidad y se comporta mejor en suelos alcalinos. No requiere de una preparación rigurosa del terreno, pero sin embargo requiere mullir el suelo adecuadamente a fin de aumentar la disponibilidad de nutrientes para la planta (Chávez, 2000).

Cuando se la cultiva pura, se recomienda una densidad de siembra de 80 kg/ha para el altiplano y 90 kg/ha para los valles y subtrópico. La población óptima es de 250 a 300 plantas/m². Se puede asociar con leguminosas forrajeras anuales para mejorar la calidad del forraje, en cuyo caso se disminuye la densidad de siembra a 70 a 90 kg/ha, las leguminosas compatibles con avena son *Avena sativa* y *Avena villosa ssp*, las densidades de siembra recomendadas para las leguminosas son 20 y 15 kg/ha, respectivamente. Cuando se asocia con *Avena villosa*, se recomienda una densidad de 60 kg/ha. (Chávez 2000).

El nitrógeno es el nutriente más importante, y generalmente se sugieren de 80 a 140 kilogramos por hectárea. Se recomienda tirar la mitad de la dosis en presiembra y la otra mitad a los 30 días de la siembra.

En la fertilización se debe de aplicar fósforo ya que es el segundo nutriente en importancia y es necesario para el buen desarrollo de las raíces, especialmente en las primeras etapas de su desarrollo. Se puede realizar un análisis de suelo para determinar si el suelo es deficiente en este nutriente, en tal caso se recomienda aplicar de 40 a 80 kilogramos por hectárea a la siembra, tirando el fertilizante junto con la semilla.

El potasio es de menor importancia en el cultivo de estos cereales, porque en los suelos de la región se encuentra normalmente en suficiente cantidad (León, 2003).

Para su aprovechamiento es preferible el corte en el momento de estado lechoso del grano. si el suministro a los animales se va a realizar en verde se puede cosechar con 15 a 20 % de emergencia de panojas, que es cuando el forraje tiene mejor calidad nutricional; La avena forrajera se cosecha cuando ya está madura, usando una segadora mecánico o una hoz, si se va a hacer manualmente. Cuando la cosecha es manual debe cortarse antes de que la planta esté muy seca, el rendimiento es 40 toneladas de forraje verde por hectárea o bien 8 toneladas de forraje seco por hectárea (Chávez, 2000).

4. DATOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

DETERMINACIÓN DE CARBONO EN DOS SISTEMA DE PASTOS

1. DETERMINACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA AEREA tC/ha/año

S1			S2		
C1	C2	C3	C1	C2	C3
0,007	0,011	0,013	0,03	0,08	0,098
X= 0,0103			X= 0,0693		

DONDE : S1 : Sistema de pastos de Avena
S2 : Sistema de pastos de Rye grass

C1 : carbono en biomasa aerea al 10% de floración
C2 : carbono en biomasa aerea al 50% de floración
C3 : carbono en biomasa aerea al 85% de floración

2. DETERMINACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA RADICULAR tC/ha/año

S1			S2		
C1	C2	C3	C1	C2	C3
0,0006	0,0006	0,0005	0,0006	0,0007	0,0007
X= 0,00057			X= 0,00067		

DONDE : S1 : Sistema de pastos Avena
S2 : Sistema de pastos Rye grass

C1 : carbono en biomasa radicular al 10% de floración
C2 : carbono en biomasa radicular al 50 % de floración
C3 : carbono en biomasa radicular al 85% de floración

3. DETERMINACIÓN DE CARBONO TOTAL EN LA BIOMASA EN tC/ha/año

S1			S2		
C1	C2	C3	C1	C2	C3
0,0076	0,0116	0,0135	0,0306	0,0807	0,0987
X= 0,01090			X= 0,07000		

DONDE : S1 : Sistema de pastos Avena
S2 : Sistema de pastos Rye grass

C1 : carbono en biomasa al 10% de floración
C2 : carbono en biomasa al 50 % de floración
C3 : carbono en biomasa al 85% de floración

3. DETERMINACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO tC/ha/año

S1			S1		
C1	C2	C3	C1	C2	C3
14,7	15,4	15,5	14,7	15,4	15,9
X= 15,20			X= 15,33		

DONDE : S1 : Sistema de pastos Avena
S2 : Sistema de pastos Rye grass

C1 : carbono en el suelo de 0 - 10 cm de profundidad
C2 : carbono en el suelo de 10 - 20 cm de profundidad
C3 : carbono en el suelo de 20 - 50 cm de profundidad

4. DETERMINACIÓN DE CARBONO TOTAL EN T/HA/Año

S1			S2		
C1	C2	C3	C1	C2	C3
14,7	15,4	15,5	14,7	15,5	16,0
X= 15,2109			X= 15,4033		

DONDE : S1 : Sistema de pastos Avena
S2 : Sistema de pastos de Rye grass

C1 : carbono total
C2 : carbono total
C3 : carbono total

PRUEBA ESTADÍSTICA DE T DE STUDENT

Statistics

Variable	GRUPO	N	Lower CL	Upper CL	Lower CL	Upper CL	Std Dev	Std Dev	Std Dev	Std Err
			Mean	Media	Mean	Std Dev				
Y	1	3	0.0027	0.0103	0.0179	0.0016	0.0031	0.0192	0.0018	
y	2	3	-0.018	0.0693	0.1569	0.0183	0.0352	0.2214	0.0203	
y	Diff (1-2)		-0.116	-0.059	-0.002	0.015	0.025	0.0719	0.0204	

T-Tests

Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > / t /
y	Combinado	Equal	4	-2.89	0.0446
y	Satterthwaite	Unequal	2.03	-2.89	0.1001

Equality of Variances

Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
y	Folded F	2	2	133.00	0.0149

Conclusiones:

La prueba de t- de Student nos indica que se rechaza la hipótesis planteada ($H_0: \mu_1 = \mu_2$), puesto que la Probabilidad P es menor que $\alpha = 0,05$.

Hay diferencias entre los dos promedios de las variables en estudio; es decir que $H_0: (\mu_1 \neq \mu_2)$.

La prueba de F de Snedecor, indica de que hay homogeneidad de varianzas, un supuesto importante en un experimento,- pues $Pr = 0.0149 \geq \alpha$

The TTEST Procedure**Statistics**

Variable	GRUPO	N	Lower CL	Upper CL	Lower CL	Upper CL	Std Dev	Std Dev	Std Dev	Std Err
			Mean	Media	Mean	Std Dev				
Y	1	3	00.0004	0.0006	0.0007	301E-7	577E-7	0.0004	333E-7	
y	2	3	0.0005	0.0007	0.0008	301E-7	577E-7	0.0004	333E-7	
y	Diff (1-2)		-23E-5	-1E-4	309E-7	346E-7	577E-7	0.0002	471E-7	

T-Tests

Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > t
y	Combinado	Equal	4	-2.12	0.1012
y	Satterthwaite	Unequal	4	-2.12	0.1012

Equality of Variances

Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
y	Folded F	2	2	1.00	1.0000

Conclusiones:

La prueba de t-de Student indica que se acepta la hipótesis planteada ($H_0: u_1 = u_2$), puesto que la Probabilidad P es mayor que $\alpha=0,05$. Esto es, $Pr = 0.1012 > \alpha = 0.05$.

Por lo tanto, estadística mente no hay diferencias entre los dos promedios.

3.

The TTEST Procedure

Statistics

Variable	GRUPO	N	Lower CL Mean	Upper CL Media	Upper CL Mean	Lower CL Std Dev	Upper CL Std Dev	Lower CL Std Dev	Upper CL Std Dev	Std Err
Y	1	3	0.0034	0.0109	0.0184	0.0016	0.003	0.0189	0.0017	
y	2	3	0-0.018	0.07	0.1577	0.0184	0.0353	0.2218	0.0204	
y	Diff (1-2)		--0.116	-0.059	-0,002	0.015	0.025	0.072	0.0204	

T-Tests

Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > t
y	Combinado	Equal	4	-2.89	0.0446
y	Satterthwaite	Unequal	2.03	-2.89	0.1001

Equality of Variances

Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
y	Folded F	2	2	137.30	0.0145

Conclusiones:

la prueba de t- de Student nos indica que se rechaza la hipótesis planteada ($H_0: \mu_1 = \mu_2$), puesto que la probabilidad P es menor que $\alpha=0,05$.

Hay diferencias entre los dos promedios de las variables en estudio; es decir que $H_0: \mu_1 \neq \mu_2$.

The TTEST Procedure

Statistics

Variable	GRUPO	N	Mean	Media	Mean	Std Dev	Std Dev	Std Dev	Std Err
Y	1	3	14.117	15.2	16.283	0.2269	0.4359	2.7395	0.2517
y	2	3	13.836	15.333	16.831	0.3138	0.6028	3.7883	0.348
y	Diff (1-2)		-1.326	-0.133	1.0591	0.3151	0.526	1.5115	0.4295

T-Tests

Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > t
y	Combinado	Equal	4	-0.31	0.7717
y	Satterthwaite	Unequal	3.64	-0.31	0.7732

Equality of Variances

Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
y	Folded F	2	2	1.91	0.6867

Conclusiones:

La prueba de t-de Student nos indica que se acepta la hipótesis planteada ($H_0: \mu_1 = \mu_2$), puesto que la Probabilidad P es mayor que $\alpha=0,05$. Esto es no hay diferencias estadísticas entre los dos promedios.

Hay homogeneidad de varianzas para este experimento, puesto que $Pr > \alpha$.

The TTEST Procedure

Statistics

Variable	GRUPO	N	Mean	Media	Mean	Std Dev	Std Dev	Std Dev	Std Err
Y	1	3	14.117	15.2	16.283	0.2269	0.4359	2.7395	0.2517
y	2	3	13.771	15.4	17.029	0.3414	0.6557	4.1212	0.3786
y	Diff (1-2)		-1.462	-0.2	1.0622	0.3336	0.5568	1.5999	0.4546

T-Tests

Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr > t
y	Combinado	Equal	4	-0.44	0.6827
y	Satterthwaite	Unequal	3.48	-0.44	0.6859

Equality of Variances

Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
y	Folded F	2	2	2.26	0.6129

Conclusiones:

La prueba de t-de Student nos indica que se acepta la hipótesis planteada ($H_0: \mu_1 = \mu_2$), puesto que la Probabilidad P es mayor que $\alpha=0,05$. Esto es no hay diferencias estadísticas entre los dos promedios (s_1 y S_2)-

Hay homogeneidad de varianzas para este experimento, puesto que $Pr > \alpha$.

$Pr > \alpha$ Se acepta la H_0 . La medias son estadísticamente iguales.

$Pr < \alpha$ Se rechaza la H_0 . Decimos que hay diferencias entre las medias.

5. FORMATO DE FICHAS DE EVALUACIÓN DE CAMPO

“DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DEL CARBONO EN DOS SISTEMAS DE PASTOS MEJORADOS EN EL DISTRITO DE COCHÁN PROVINCIA DE SAN MIGUEL - CAJAMARCA”

EVALUACIÓN CULTIVO DE BIOMASA AEREA DE AVENA AL 10 % DE FLORACIÓN

N° MUESTRA	PARÁMETROS				
	Biomasa aérea (BA) en fresco(kg./m ²)	Biomasa aérea (BA) en fresco (g/m ²)	Biomasa aérea (BA) en seco (g/m ²)	Altura de Planta(cm)	N° de plantas por m ²
1					
2					
3					
4					
5					

EVALUACIÓN CULTIVO DE BIOMASA RADICULAR DE AVENA AL 10 % DE FLORACIÓN

N° MUESTRA	PARÁMETROS				
	Biomasa radicular(BA) en fresco(kg./m ²)	Biomasa radicular (BA) en fresco (g/m ²)	Biomasa radicular (Br) en seco (g/m ²)	Largo de raíz por Planta(cm)	N° de raíces m ²
1					
2					
3					
4					
5					

EVALUACIÓN CULTIVO DE BIOMASA AEREA DE RYE GRASS AL 10 % DE FLORACIÓN

N° MUESTRA	PARÁMETROS				
	Biomasa aérea (BA) en fresco(kg./m ²)	Biomasa aérea (BA) en fresco (g/m ²)	Biomasa aérea (BA) en seco (g/m ²)	Altura de Planta(cm)	N° de plantas por m ²
1					
2					
3					
4					
5					

EVALUACIÓN CULTIVO DE BIOMASA RADICULAR DE RYE GRAS AL 10 % DE FLORACIÓN

N° MUESTRA	PARÁMETROS				
	Biomasa radicular(BA) en fresco(kg./m ²)	Biomasa radicular (BA) en fresco (gr/m ²)	Biomasa radicular (Br) en seco (g/m ²)	Largo de raíz por Planta(cm)	N° de raíces m ²
1					
2					
3					
4					
5					

OBSERVACIONES:.....

EVALUACIÓN DE PESO DE SUELO

N° MUESTRA	PARÁMETROS		
	Evaluación de suelo de (0 a 10 cm) de profundidad (g)	Evaluación de suelo de (10 a 20 cm) de profundidad (g)	Evaluación de suelo de (20 a 50 cm) de profundidad (g)
1			
2			
3			
4			
5			

OBSERVACIONES:.....

Fórmula para obtener la Materia Seca (%) de un forraje

Según: Calistro, E.2012.

$$MS\% = \frac{Ps}{Pf} * 100$$

MS% = Porcentaje materia seca
 Ps = peso seco
 Pf = peso fresco

6. MAPA DE ESTUDIO Y MAPA DE UBICACIÓN DE LA PARCELA

MAPA DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO

