

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE LA TIERRA  
EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN  
SUELOS DE LA MICROCUENCA GANADERA DE  
POMACOCHAS DEL DEPARTAMENTO DE  
AMAZONAS - PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

**Bach. JERSY CHICHIPE BUSTAMANTE**

**Bach. TITO ALDIN ESPARRAGA ESPINOZA**

**ASESOR:                   Ing. SEGUNDO MANUEL OLIVA CRUZ**

**CO-ASESOR:           PhD. SADY GARCIA BENDEZÚ**

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE LA TIERRA  
EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN  
SUELOS DE LA MICROCUENCA GANADERA DE  
POMACOCHAS DEL DEPARTAMENTO DE  
AMAZONAS - PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

**Bach. JERSY CHICHIPE BUSTAMANTE**

**Bach. TITO ALDIN ESPARRAGA ESPINOZA**

**ASESOR: Ing. SEGUNDO MANUEL OLIVA CRUZ**

**CO-ASESOR: Ph.D. SADY GARCIA BENDEZÚ**

**Amazonas - Perú 2015**

## DEDICATORIA

A Dios por brindarme la vida, la sabiduría e iluminar siempre mi camino, a mis padres Israel y María Fraccilia por ser un ejemplo de vida y haberme brindado todo el apoyo para poder hacer realidad mis metas trazadas.

A mis hermanos Eresvita, Lloner y Alder por su gran apoyo moral a cada instante.

Jersy.

A Dios por darme la vida, a mis padres Asunción Esparraga y María Espinoza, por ser siempre mis más directos y respetables amigos, por darme todo el apoyo y amor suficiente para no perder nunca la esperanza.

A mis hermanos Luis, Dagner, Miner, Reyder, Marly, Mabely y Jamil, quienes a pesar de las vicisitudes de la vida se preocuparon y creyeron en mí.

Tito A.

## AGRADECIMIENTO

Queremos hacer llegar nuestro más sincero agradecimiento a nuestro asesor, Ing. Segundo Manuel Oliva Cruz por su gran apoyo para poder realizar este trabajo.

A nuestro coasesor, Dr. Sady García Bendezú, jefe del Laboratorio de Aguas, Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Agraria de la Molina (LASPAF), por su apoyo a pesar de la distancia en la formulación del presente proyecto.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva - INDES-CES de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazona, por brindar el financiamiento del presente trabajo de investigación a través del proyecto PROMARENA.

A los señores miembros del jurado Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres, Ing. Jorge Chávez Guivin y MSc. Wagner Guzmán Castillo quienes han contribuido en la formulación y ejecución de este proyecto.

Al Dr. Manuel Milla Pino, investigador de la Universidad Central de Venezuela por sus orientaciones para formular la parte estadística del presente proyecto.

A Carlos Julián Mestanza Novoa, Bachiller en Ingeniería Agrónoma de la Universidad Nacional Agraria de la Molina-Lima, por su gran apoyo a cada instante en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todas las personas que de una u otra forma nos apoyaron en el presente trabajo de investigación.

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

*Rector*

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

*Vicerrector académico*

Dr. MARIA NELLY LUJAN ESPINOZA

*Vicerrector de Investigación*

Dr. EVER SALOME LÁZARO BAZÁN

*Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental*

## VISTO BUENO DEL ASESOR

En mi calidad de docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, yo Ing. Segundo Manuel Oliva Cruz, que suscribo, hago constar que he asesorado la ejecución y elaboración del informe de la tesis titulado “Evaluación de la influencia del uso de la tierra en el almacenamiento de carbono orgánico en suelos de la microcuenca ganadera de Pomacochas del departamento de Amazonas-Perú” de los tesisistas, Jersy Chichipe Bustamante y Tito Aldin Esparraga Espinoza, egresados de la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM – Amazonas.

Chachapoyas, 28 de setiembre del 2015

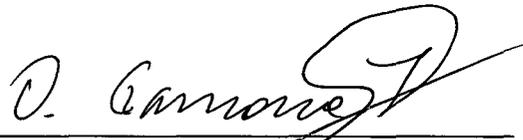


---

ING. SEGUNDO MANUEL OLIVA CRUZ

Asesor

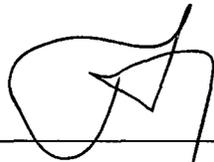
**JURADO EVALUADOR**



---

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

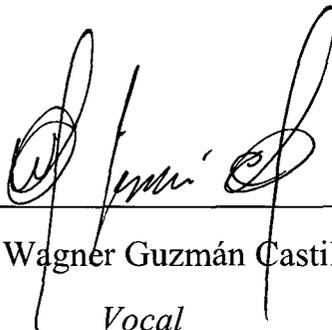
*Presidente*



---

Ing. Jorge Chávez Guivin

*Secretario*



---

MSc. Wagner Guzmán Castillo

*Vocal*

## ÍNDICE GENERAL

|   |           |
|---|-----------|
| DEDICATORIA .....   | i         |
| AGRADECIMIENTO.....   | ii        |
| AUTORIDADES UNIVERSITARIAS .....  | iii       |
| VISTO BUENO DEL ASESOR .....  | iv        |
| JURADO EVALUADOR .....  | v         |
| ÍNDICE GENERAL.....   | vi        |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | viii      |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | x         |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS.....   | xi        |
| RESUMEN.....  | xii       |
| ABSTRACT.....   | xiii      |
| <br>  |           |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1.1. Ganadería en microcuena de Pomacochas departamento Amazonas .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>1.2. Sistemas de manejo de suelos en la microcuena de Pomacochas .....</b> | <b>4</b>  |
| 1.2.1.Sistemas a campo abierto .....  | 4         |
| 1.2.2.Sistemas silvopastoriles.....   | 5         |
| 1.2.3.Sistemas forestales .....   | 6         |
| <b>1.3. Carbono.....</b>  | <b>7</b>  |
| 1.3.1.Carbono en el suelo .....   | 8         |
| 1.3.2.Secuestro de carbono en el suelo.....                                   | 8         |
| 1.3.3.Carbono orgánico en el suelo .....                                      | 10        |
| <b>II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>2.1. Área de estudio .....</b>   | <b>11</b> |
| 2.1.1.Descripción de la zona de estudio .....                                 | 11        |
| 2.1.1.1. Ubicación .....  | 11        |
| 2.1.1.2. Acceso .....   | 14        |
| 2.1.1.3. Comunicación .....   | 14        |
| 2.1.1.4. Salud.....   | 14        |
| 2.1.1.5. Infraestructura .....  | 14        |
| 2.1.2.Características socioeconómicas del área de estudio .....               | 15        |
| 2.1.2.1. Demografía.....  | 15        |
| 2.1.2.2. Población.....   | 15        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.1.2.3. Población económicamente activa (PEA).....                                   | 16        |
| 2.1.2.4. Principales indicadores económicos .....                                     | 17        |
| 2.1.3.Características fisiográficas.....  | 18        |
| 2.1.3.1. Relieve.....   | 18        |
| 2.1.3.2. Zonas de vida .....  | 19        |
| 2.1.3.3. Capacidad de uso mayor de suelos (CUM).....                                  | 19        |
| <b>2.2. Metodología.....</b>  | <b>19</b> |
| 2.2.1.Materiales .....  | 19        |
| 2.2.1.1. Trabajos preliminares.....   | 19        |
| 2.2.1.2. Trabajos de campo .....  | 20        |
| 2.2.1.3. Análisis de laboratorio .....  | 20        |
| 2.2.2.Trabajos preliminares .....   | 21        |
| 2.2.3.Trabajos de campo.....  | 22        |
| 2.2.4.Análisis de muestras en laboratorio.....  | 27        |
| 2.2.4.1. Determinación de carbono orgánico .....                                      | 28        |
| 2.2.4.2. Determinación de densidad aparente .....                                     | 29        |
| 2.2.4.3. Determinación de materia seca de pastos.....                                 | 29        |
| 2.2.4.4. Determinación de características fisicoquímicas del suelo.....               | 30        |
| 2.2.4.5. Estimación del carbono en el suelo de la microcuenca.....                    | 31        |
| 2.2.4.6. Conversión del carbono orgánico a dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )..... | 31        |
| 2.2.5.Procesamiento de la información .....   | 32        |
| <b>III. RESULTADOS.....</b>   | <b>33</b> |
| 3.1. Caracterización de los sistemas.....   | 33        |
| 3.2. Sistema que almacena mayor cantidad de carbono orgánico .....                    | 45        |
| 3.3. Estimación del carbono orgánico en función de la profundidad .....               | 47        |
| 3.4. Cantidad de CO <sub>2</sub> que captura cada sistema .....                       | 48        |
| <b>IV. DISCUSIÓN.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>54</b> |
| 5.1. Conclusiones.....  | 54        |
| 5.2. Recomendaciones.....   | 55        |
| <b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>56</b> |
| <b>VII. ANEXOS .....</b>  | <b>61</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Tabla 1:</b>  | Población total del distrito involucrado con la microcuenca de Pomacochas.          | 15 |
| <b>Tabla 2:</b>  | Población urbana y rural del distrito involucrado con la microcuenca de Pomacochas. | 16 |
| <b>Tabla 3:</b>  | Incremento porcentual de la población - periodo (2007 - 2015).                      | 16 |
| <b>Tabla 4:</b>  | PEA del distrito La Florida ocupada según su actividad económica.                   | 17 |
| <b>Tabla 5:</b>  | PEA y no PEA de la microcuenca de Pomacochas- distrito La Florida.                  | 17 |
| <b>Tabla 6:</b>  | Población y niveles de pobreza.   | 18 |
| <b>Tabla 7:</b>  | Índice de desarrollo humano.  | 18 |
| <b>Tabla 8:</b>  | Capacidad de uso mayor de la microcuenca de Pomacochas.                             | 19 |
| <b>Tabla 9:</b>  | Ubicación de las unidades de muestreo en los sistemas de manejo de suelos.          | 25 |
| <b>Tabla 10:</b> | Características físicas y químicas de los suelos del sistema a campo abierto.       | 36 |
| <b>Tabla 11:</b> | Características físicas y químicas de los suelos del sistema forestal.              | 40 |
| <b>Tabla 12:</b> | Características físicas y químicas de los suelos del sistema silvopastoril.         | 45 |
| <b>Tabla 13:</b> | Comparación del carbono orgánico con los sistemas de manejo de suelos.              | 46 |

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Tabla 14:</b> | Comparación del carbono orgánico con las 3 profundidades.                            | 47 |
| <b>Tabla 15:</b> | Carbono orgánico almacenado en sistema a campo abierto en función de la profundidad. | 47 |
| <b>Tabla 16:</b> | Carbono orgánico almacenado en sistema forestal en función de la profundidad.        | 48 |
| <b>Tabla 17:</b> | Carbono orgánico almacenado en sistema silvopastoril en función de la profundidad.   | 48 |
| <b>Tabla 18:</b> | CO <sub>2</sub> capturado en sistema a campo abierto.                                | 49 |
| <b>Tabla 19:</b> | CO <sub>2</sub> capturado en sistemas forestales.                                    | 49 |
| <b>Tabla 20:</b> | CO <sub>2</sub> capturado en sistemas silvopastoriles.                               | 49 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Figura 01</b> | Ubicación del área de estudio.                                   | 13 |
| <b>Figura 02</b> | Sistemas de manejo de suelos.                                    | 24 |
| <b>Figura 03</b> | Ubicación del sistema a campo abierto.                           | 34 |
| <b>Figura 04</b> | Ubicación del sistema forestal.                                  | 38 |
| <b>Figura 05</b> | Ubicación del sistema silvopastoril.                             | 42 |
| <b>Figura 06</b> | Carbono orgánico almacenado en los sistemas de manejo de suelos. | 46 |
| <b>Figura 07</b> | Captura de CO <sub>2</sub> en los sistemas de manejo de suelos.  | 50 |

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

|                 |  |
|-----------------|--|
| COS             | : Carbono orgánico del suelo.            |
| CO <sub>2</sub> | : Dióxido de carbono.                    |
| SCA             | : Sistema a campo abierto.               |
| SF              | : Sistema forestal.                      |
| SSP             | : Sistema silvopastoril.                 |
| SCA1-CAL1       | : Sistema a campo abierto 1- Calicata 1. |
| SCA1-CAL2       | : Sistema a campo abierto 1- Calicata 2. |
| SCA1-CAL3       | : Sistema a campo abierto 1- Calicata 3. |
| SCA2-CAL1       | : Sistema a campo abierto 2- Calicata 1. |
| SCA2-CAL2       | : Sistema a campo abierto 2- Calicata 2. |
| SCA2-CAL3       | : Sistema a campo abierto 2- Calicata 3. |
| SF1-CAL1        | : Sistema forestal 1- Calicata 1.        |
| SF1-CAL2        | : Sistema forestal 1- Calicata 2.        |
| SF1-CAL3        | : Sistema forestal 1 - Calicata 3.       |
| SF2-CAL1        | : Sistema forestal 2- Calicata 1         |
| SF2-CAL2        | : Sistema forestal 2- Calicata 2.        |
| SF2-CAL3        | : Sistema forestal 2- Calicata 3.        |
| SSP1-CAL1       | : Sistema silvopastoril 1- Calicata 1    |
| SSP1-CAL2       | : Sistema silvopastoril 1- Calicata 2.   |
| SSP1-CAL3       | : Sistema silvopastoril 1- Calicata 3.   |
| SSP2-CAL1       | : Sistema silvopastoril 2- Calicata 1    |
| SSP2-CAL2       | : Sistema silvopastoril 2- Calicata 2.   |
| SSP2-CAL3       | : Sistema silvopastoril 2- Calicata 3.   |
| DAP             | : Diámetro a la altura del pecho.        |
| Q.P.            | : Químicamente puro.                     |

## RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la influencia del uso de la tierra en el almacenamiento de carbono orgánico en suelos de la microcuenca ganadera de Pomacochas - Perú, lo cual se determinó en función a tres sistemas de manejo de suelos: sistemas a campo abierto, sistemas forestales y sistemas silvopastoriles.

Para realizar esta evaluación se tomó cada sistema con su repetición y se construyeron tres calicatas al azar en cada sistema de manejo de suelos, y se tomaron tres muestras de suelo a tres profundidades distintas de cada calicata construida, a profundidades de 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm, siendo un total de 18 calicatas, lo cual constituye un total de 54 muestras de suelo para determinar el contenido de carbono orgánico y 54 muestras para determinar la densidad aparente.

Obteniendo como resultado que el sistema forestal almacena mayor cantidad de carbono orgánico con  $316,21 \text{ tm C ha}^{-1}$ , luego está el sistema silvopastoril con  $240,25 \text{ tm C ha}^{-1}$  y finalmente el sistema a campo abierto almacenando  $160,31 \text{ tm C ha}^{-1}$ , y la mayor cantidad de carbono orgánico se encuentra almacenado en los primeros 20 cm de todos los sistemas.

**Palabras claves:** Almacenamiento de carbono, carbono orgánico del suelo, sistemas a campo abierto, sistemas forestales, sistemas silvopastoriles, Pomacochas, La Florida.

## ABSTRACT

In the present study the influence of the land use in the storage of organic carbon in soils of the watershed of Pomacochas was evaluated, which was determined according to three systems of soil management systems, open field, forest systems and pasture systems.

For this evaluation system was taken with each repetition and three random test pits were built in each land management system, and three soil samples were taken at three different depths of each soil pit constructed at depths of 0-20, 30 40 and 40 to 60 cm, with a total of 18 pits, which is a total of 54 soil samples to determine the content of organic carbon and 54 samples to determine bulk density.

Resulting in the forestry system stores as much organic carbon with  $316,21 \text{ tm C ha}^{-1}$ , then the silvopastoral system is  $240,25 \text{ tm C ha}^{-1}$  and finally the open field system storing  $160,31 \text{ tm C ha}^{-1}$  and the highest amount of organic carbon is stored in the first 20 cm of all systems.

**Keywords:** carbon storage, soil organic carbon, systems an open field, Forest Systems, silvopastoral systems, Pomacochas, La Florida.

## I. INTRODUCCIÓN

En el departamento de Amazonas, la actividad pecuaria más importante, es el desarrollo de la ganadería de bovinos de leche, existiendo seis microcuencas lecheras que tienen un gran potencial para ser desarrolladas, las que están ubicadas en los distritos de Leymebamba y Molinopampa (Chachapoyas), Pomacochas (Bongará) y Bagua Grande, Cajaruro y Nueva Esperanza (Utcubamba); el área para la producción pecuaria tiene una disponibilidad de 212 371 ha, para pastoreo (Gobierno Regional Amazonas, 2011).

Los problemas enfrentados por la crianza de ganado en el departamento de Amazonas y las preocupaciones sobre el ambiente sugieren que actualmente algunas áreas destinadas a pastura pueden ser liberadas para reforestación, contribuyendo así al almacenamiento de carbono. Esto no necesariamente podría ser cierto, ya que para muchos productores, el ganado todavía tiene un valor importante. En éste sentido, el uso adecuado del suelo haciendo un uso eficiente de los recursos y garantizando un cuidado pleno del ambiente, en sistemas ganaderos, es una buena alternativa.

En la microcuenca de Pomacochas se practica una ganadería cada vez más extensiva, siendo sus áreas de pastoreo cada vez más numerosas, lo cual implica que al darles un buen manejo servirían como depósitos para el almacenamiento de carbono orgánico y de esta manera reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y por ende contribuir con la reducción de los gases de efecto invernadero.

Sin embargo, es importante resaltar que muchas áreas de pastoreo son mal manejadas y están degradadas; por lo tanto, ofrecen variadas posibilidades de secuestro de carbono.

Ciesla (1996) & Abarca (1997), manifiestan que los sistemas ganaderos con pasturas tradicionales mal manejadas es uno de los usos del suelo que más aportan gases efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) a la atmósfera. El CO<sub>2</sub> es un gas

de mucha importancia desde el punto de vista del calentamiento global, debido al volumen producido todos los años, con un aumento en su concentración y por el tiempo de residencia en la atmósfera (Mora, 2001). El CO<sub>2</sub> es responsable del 50% del calentamiento global a través de la absorción de la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra (Veldkamp, 1993).

Los sistemas agroforestales y entre ellos los silvopastoriles, son una opción apropiada para enfrentar los problemas anteriores, esto implica la presencia de árboles y/o arbustos forrajeros, maderables o multipropósito (Pezo & Ibrahim, 1999). Estos sistemas tienen el potencial de conservar los recursos naturales y la biodiversidad controlando la erosión de los suelos, reduciendo los daños ocasionados por la variabilidad climática (heladas, sequías), aumentando la calidad del forraje y disminuyendo la estacionalidad de su producción (FAO, 2001), además de producir servicios ambientales como la fijación de carbono.

La presente investigación aporta información sobre el almacenamiento de carbono orgánico que brindan los diferentes sistemas de manejo de suelos como son: sistemas a campo abierto, sistemas silvopastoriles y sistemas forestales, la misma que puede ser útil para la implementación de pago por servicios ambientales (PSA) y orientar al uso de tecnologías de manejo sostenible del suelo.

Durante el desarrollo de este trabajo se cumplió con el objetivo general de evaluar la influencia del uso de la tierra en el almacenamiento de carbono orgánico en suelos de la microcuenca ganadera de Pomacochas del departamento de Amazonas - Perú. Para lo cual, se desarrolló los objetivos específicos de: 1) Caracterizar tres sistemas de manejo de suelos: sistemas a campo abierto, sistemas silvopastoriles y sistemas forestales, 2) Determinar el sistema de manejo de suelo que almacena mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo y 3) Estimar a qué profundidad del suelo el carbono orgánico se encuentra almacenado en

mayor cantidad. Asimismo se tiene la hipótesis que en la microcuenca de Pomacochas, se encuentra que el suelo tiene almacenado un promedio de 50 % de carbono orgánico y la mayor cantidad se encuentra almacenado en la capa superficial del suelo.

## **1.1. Ganadería en microcuenca de Pomacochas departamento Amazonas**

Se estima que en el departamento Amazonas existen alrededor de 212 371 ha de tierras agrícolas aptas para el pastoreo. De estas, un 17 % son pasturas y silvopastoriles, la mayor parte de ellos creados en áreas donde anteriormente existían bosques u otro tipo de vegetación nativa. Asimismo cada año se deforesta entre 30 a 40 ha, para convertirlas en agricultura y/o pastos y plantaciones silvícolas (Gobierno Regional Amazonas, 2011).

El uso de la tierra para sistemas de pastoreo se incrementó continuamente durante las últimas décadas, produciéndose una reducción dramática en el área boscosa. Por otro lado, la productividad ha disminuido como consecuencia de la implementación de sistemas de producción más extensivos e incorporación de suelos de menor fertilidad. La ganadería, está basada en recursos naturales tales como tierra, agua, aire y plantas. Los sistemas de producción ganadera tienen diferentes interfaces con la naturaleza. Se observa además, una degradación inducida por la pobreza, relacionada con la baja productividad y que se manifiesta en forma de deforestación y sobre pastoreo. La ganadería y los desechos ganaderos producen gases que contribuyen al cambio climático global. Algunos son locales, como el amoníaco, otros como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) afectan la atmósfera causando el calentamiento global o efecto invernadero.

## **1.2. Sistemas de manejo de suelos en la microcuenca de Pomacochas**

### **1.2.1. Sistemas a campo abierto**

Sistemas conformado por extensas hectáreas de pastizales en los cuales no existen arboles introducidos en medio de los pastizales, por tal razón estas áreas son muy susceptibles a los cambios climáticos y por ende a la erosión de dichos suelos. El pastoreo de campo abierto es una forma de manejo extensivo de

ganado en el cual el acceso a las pasturas es exclusivo, bien sea dentro de un área limitada por cercado periférico o bajo el control de los pastores. El suministro de agua es organizado. El ganado es dividido en diferentes hatos después de la selección por sexo o edad y es manejado en diferentes pasturas o "potreros". El manejo de pasturas puede incluir la rotación de éstas, la introducción en la vegetación de plantas forrajeras seleccionadas y varias intervenciones para mantenimiento de las pasturas, incluyendo fuego controlado (López, *et al.*, 2002).

### **1.2.2. Sistemas silvopastoriles**

Un sistema silvopastoril (SSP) es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos) y de los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales), en donde todos ellos interactúan bajo un sistema de manejo integral (Somarriba, 1992). Los sistemas silvopastoriles son prácticas agroforestales que contribuyen con la economía y la sostenibilidad biótica del sistema de producción (Guevara, 2000).

Algunos sistemas silvopastoriles mencionados en la literatura son: leñosas en callejones, pastoreo en plantaciones de árboles maderables o frutales, barreras vivas y cortinas rompe viento, cercas vivas, árboles y arbustos dispersos en potrero y bancos forrajeros (Nair, 1993; Pezo e Ibrahim, 1996).

En los sistemas silvopastoriles (SSP) la presencia de las leñosas perennes puede contribuir a mejorar la productividad del suelo, y por ende favorecer el estrato herbáceo. Entre los mecanismos más importantes está la fijación de nitrógeno (N), el reciclaje de nutrientes, la mejora en la eficiencia del uso de

nutrimentos, el mantenimiento de la materia orgánica y el control de la erosión (Nair, 1993).

El reciclaje de nutrientes en sistemas silvopastoriles (SSP) ocurre a través de la senescencia de biomasa aérea y la muerte de raíces, tanto de las leñosas como del estrato herbáceo. Esto se da a través del material podado que es dejado en el campo, y por medio de las excretas que los animales depositan durante el pastoreo (Pezo & Ibrahim, 1999).

El contenido de materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad de éste, tanto en sus funciones agrícolas, como en sus funciones ambientales. También, es el principal determinante de su actividad biológica ya que la cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica (FAO, 2000). La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica, ésta a su vez, incrementa la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (Robert, 1996).

### **1.2.3. Sistemas forestales**

Según Pezo e Ibrahim (1999), la ganadería puede considerarse como un complemento de la actividad forestal dadas las siguientes ventajas:

- Aumento de los ingresos, diversificación de la empresa y control del riesgo.
- Aprovechamiento más uniforme de la mano de obra, en especial si incorporamos ganado lechero.

- Toda actividad de manejo realizado al componente herbáceo tiene efectos colaterales sobre las leñosas, y viceversa.
- Mayor estabilización del suelo.
- Mayor reciclaje de nutrientes.

El principal factor limitante para el crecimiento de pasturas en sistemas forestales es el nivel de sombra ejercido por los árboles y arbustos. Si bien en la mayoría de los casos, la tasa de crecimiento de las pasturas es menor cuando crecen bajo la copa de los árboles que a pleno sol, no todas las forrajeras responden de igual manera a la disminución de la energía lumínica (Pezo & Ibrahim, 1999).

### **1.3. Carbono**

El carbono (C) es la unidad principal de la vida en este planeta y su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos. El carbono se acumula en compartimientos llamados depósitos y circula activamente entre ellos, de estos depósitos, los océanos son los que almacenan la mayor cantidad ( $3,8 \times 10^{13}$  tm C), seguido por el suelo ( $1,5 \times 10^{13}$  tm C), la atmósfera ( $7,5 \times 10^{11}$  tm C) y las plantas ( $5,6 \times 10^{11}$  tm C) (FAO, 2002).

Los océanos, las plantas y el suelo intercambian  $\text{CO}_2$  con la atmósfera. Cualquier desequilibrio entre los flujos de entrada y salida se refleja en un cambio en la concentración del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera. La absorción de  $\text{CO}_2$  atmosférico por las plantas ( $1,2 \times 10^{11}$  tm C año<sup>-1</sup>) a través de la fotosíntesis está en equilibrio con la respiración de las plantas y el suelo (aproximadamente  $6 \times 10^{10}$  tm C año<sup>-1</sup>) (Bolin & Sukumar, 2000).

Normalmente de 20 a 49 % de la materia orgánica nativa del suelo se pierde cuando un suelo virgen es intervenido para convertirlo a la agricultura. Estas pérdidas son

mayores en los primeros años y disminuyen después de aproximadamente 20 años de cultivo (Robert, 2002).

Las plantas fijan carbono a través del proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes, que capturan el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, producen carbohidratos, liberan oxígeno y dejan carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta. En este sentido, los bosques y plantaciones tropicales, las prácticas agroforestales y en general aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de sumideros de carbono (Cuéllar *et al.*, 1999).

### **1.3.1. Carbono en el suelo**

El carbono en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica; la forma orgánica representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera. El carbono inorgánico representa cerca de  $1,7 \times 10^{12}$  tm C pero es capturado en forma más estable tales como el carbonato de calcio (Robert, 2002). La vegetación ( $6,5 \times 10^{11}$  tm C) y la atmósfera ( $7,5 \times 10^{11}$  tm C) almacenan considerablemente menos cantidades de carbono que los suelos. Esta es la razón por la cual los cambios en estos depósitos, pueden tener un impacto en el equilibrio global (Kanninen, 2001).

El carbono orgánico presente en los suelos naturales representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización).

### **1.3.2. Secuestro de carbono en el suelo**

Durante el último siglo, aproximadamente  $1,5 \times 10^{11}$  tm de C ha sido liberado a la atmósfera como consecuencia de los cambios en el uso de la tierra. Esto

equivale en proporciones actuales a aproximadamente 30 años de emisiones de combustible fósil (Kanninen, 2001).

Oades (1988), indica que varios factores favorecen la retención del C en el suelo y permiten mayores tasas de recambio y tiempos de residencia.

Estos incluyen, distribución por debajo de la superficie del suelo, asimilados con bajo contenido de nutrientes, materiales ricos en lignina y ceras, inundación, bajas temperaturas, texturas arcillosas, alta saturación de bases, agregación y superficies de cargas variables.

Mientras que los factores que aceleran el flujo hacia el suelo de asimilados de C en las plantas son: hojarasca con concentraciones altas de asimilados, asimilados ricos en nutrientes, carbohidratos, aireación, altas temperaturas, textura arenosa, acidez y superficies con poca carga.

Un buen sistema agropecuario es el que secuestra más carbono del que emite (Mora, 2001).

Las pasturas con base en gramíneas mejoradas secuestran más carbono en partes profundas del perfil del suelo, generalmente debajo de la capa arable (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).

En pasturas bien manejadas donde antes fueron bosques, los sistemas radicales de los pastos pueden redistribuir el carbono en las capas más profundas del suelo (Nepstad *et al.*, 1991), donde se almacena en formas más estables y es menos susceptible a oxidación (Batjes & Sombroek, 1997). Muestras repetidos en sitios cultivados que habían sido convertidos a pasturas mostraron incrementos en carbono orgánico de suelo durante varias décadas. Las altas

tasas de producción de raíces de los pastos pueden explicar la alta capacidad de acumulación de carbono por parte de las pasturas (Cerri *et al.*, 1991; Brown *et al.*, 1992).

Estudios realizados demuestran que el cambio de uso de la tierra de las áreas de pastura hacia sistemas silvopastoriles contribuye a mejorar la calidad de los suelos, a mejorar la productividad de las fincas y a beneficiar el medio ambiente. López *et al.*, (1999), demuestran la importancia que tiene el suelo y los árboles bajo sistemas silvopastoriles en el secuestro de carbono.

### **1.3.3. Carbono orgánico en el suelo**

El C orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964). En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, erosión y lixiviación (Swift, 2001 & Aguilera, 2000). Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo ( $5,5 \times 10^{10}$  tm C año<sup>-1</sup> a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable ( $4 \times 10^8$  tm C año<sup>-1</sup>) (FAO, 2001). El CO<sub>2</sub> emitido desde el suelo a la atmósfera no solo se produce por la mineralización de la MOS donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas (Fortín *et al.*, 1996).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

#### 2.1.1. Descripción de la zona de estudio

##### 2.1.1.1. Ubicación

La presente investigación se desarrolló en la microcuenca de Pomacochas, distrito La Florida – Pomacochas, provincia de Bongará, departamento Amazonas.

El distrito La Florida se encuentra ubicado en la parte central de la provincia de Bongará, a un costado de la carretera Fernando Belaunde Terry (entre los km 323 – 326), encontrándose entre las coordenadas de 5°49'20" de latitud sur y 77°55'00" de longitud oeste, se encuentra a 220 msnm, según su altura está ubicada en la Región Yunga.

El clima de la localidad es frío húmedo, debido a las brisas de la laguna, la temperatura promedio oscila entre los 15 y 17 °C. La población es eminentemente agrícola y ganadera por lo que todo el valle es de un verdor impresionante.

El principal atractivo turístico del distrito de La Florida es la laguna de Pomacochas, es de aguas tranquilas y navegables lo que se aprovecha para la navegación mediante botes o canoas.

Limite distrital:

- Norte : Distrito de Yambrasbamba.
- Este : Distritos de Jumbilla y Corosha.
- Sur : Distritos de Cuispe y Shipasbamba.
- Oeste : Provincia de Utcubamba.

En la figura 1 se muestra el área de estudio, el de color verde corresponde a todo el ámbito del distrito de Florida con un área de 22 263 ha, la microcuenca de Pomacochas se encuentra dentro del ámbito del distrito con una área de 6 387,69 ha, y el de color azul corresponde a la laguna de Pomacochas la cual se ubica en el ámbito de la microcuenca.

#### **2.1.1.2. Acceso**

Para llegar al distrito La Florida-Pomacochas, se viaja por carretera desde la ciudad de Chachapoyas al distrito Jazán-Pedro Ruiz (52 km), de allí se parte por la carretera Fernando Belaunde Terry con destino a Tarapoto, llegando al km. 323 -326 (a 32 km de distancia) queda la capital del distrito La Florida-Pomacochas. De la capital del distrito se desplaza por trochas carrozables y caminos de herradura a los diversos caseríos y anexos.

La distancia de la ciudad de Chachapoyas a la localidad de Pomacochas es de 84 km.

#### **2.1.1.3. Comunicación**

El servicio de telecomunicaciones en el distrito La Florida es bueno, pues para el caso de telefonía hay centrales de teléfono público fijo "GILAT". También hay servicio de telefonía móvil (celular) Movistar y Claro; en Pomacochas hay una estación de internet. En cuanto a televisión se capta la señal de un canal (ATV) y radios de alcance nacional como RPP y de alcance regional como Reyna de la Selva, Horizonte, Victoria y Radio Activa.

#### **2.1.1.4. Salud**

Los servicios de salud a la población los provee básicamente el Ministerio de Salud a través del Centro de Salud de Pomacochas, donde atienden un médico, una obstetra y un técnico de enfermería.

#### **2.1.1.5. Infraestructura**

En cuanto a la infraestructura de las viviendas en el distrito, el 15,9 % de las viviendas construidas es con material noble (ladrillo o

cemento), mientras que el 28,1 % es de adobe. Los pisos en un 70,6 % son de tierra, el 26,9 % es de cemento.

## **2.1.2. Características socioeconómicas del área de estudio**

### **2.1.2.1. Demografía**

El estudio demográfico se realizó para mostrar las tendencias de ciertos parámetros poblacionales, que permitirán un diagnóstico cualitativo de la población involucrada con el área de estudio.

Solo se incluyó al distrito La Florida, la información censal fue obtenida según el INEI, año 2007, que tiene una tasa de crecimiento promedio anual de 3,81%.

### **2.1.2.2. Población**

En los Tablas siguientes se presenta a la población total, población por sexo, tasas de crecimiento de la población y población económicamente activa (PEA).

- **Población total**

En el Tabla 1, se muestra que el distrito La Florida tiene una población total de 6 199 habitantes, de los cuales 3 217 son hombres y 2 982 son mujeres (INEI, Censo 2007).

**Tabla 01. Población total del distrito involucrado con la microcuena de Pomacochas**

| <b>Distrito</b> | <b>Hombres</b> | <b>Mujeres</b> | <b>Población Total</b> |
|-----------------|----------------|----------------|------------------------|
| Florida         | 3 217          | 2 982          | 6 199                  |

**Fuente:** INEI-Censo 2007.

- **Población urbana y rural**

En el Tabla 02, se muestra que 3 570 habitantes pertenecen a zonas urbanas y 2 629 son de zonas rurales (INEI, Censo 2007).

**Tabla 02. Población urbana y rural del distrito involucrado con la microcuenca de Pomacochas**

| <b>Distrito</b> | <b>Urbana</b> | <b>Rural</b> |
|-----------------|---------------|--------------|
| Florida         | 3 570         | 2 629        |

Fuente: INEI-Censo 2007.

- **Tasa de crecimiento poblacional**

En el Tabla 3, se muestra el incremento porcentual de población del año 2007 al 2015 el cual es de 26,68 % (INEI, Censo 2007).

**Tabla 03. Incremento porcentual de la población - periodo (2007 - 2015)**

| <b>Distrito</b> | <b>Año 2007</b> | <b>Año 2015</b> | <b>Incremento Porcentual (%)</b> |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| Florida         | 6 199           | 7 853           | 26,68                            |

Fuente: INEI-Censo 2007.

### **2.1.2.3. Población económicamente activa (PEA)**

La PEA lo constituyen todas aquellas personas capaces de realizar una labor productiva que tienen empleo o están buscándolo.

La PEA de la población involucrada es considerada para gente de 14 y más años, teniendo cifras del año 2007 según el INEI de 2 198, esto significa que el 40,66 % representa la PEA del distrito La Florida.

Según esta clasificación en el distrito La Florida se dedican principalmente a actividades de agricultura y ganadería.

En el Tabla 04, se presenta a la PEA y en el Tabla 5 la NO PEA de la población involucrada con la microcuenca de Pomacochas, clasificado según la actividad económica de cada persona.

**Tabla 04. PEA del distrito La Florida ocupada según su actividad económica**

| <b>Clasificación</b>                      | <b>Cifras absolutas</b> |
|---|-------------------------|
| Agricultura y ganadería                   | 879                     |
| Comercio                                  | 317                     |
| Construcción                              | 69                      |
| Peones de labranza y peones agropecuarios | 367                     |
| Enseñanza                                 | 73                      |
| Otras ocupaciones                         | 418                     |

**Fuente:** INEI-Censo 2007.

**Tabla 05. PEA y no PEA de la microcuenca de Pomacochas- distrito La Florida**

| <b>Categorías</b>          | <b>Casos</b> | <b>%</b>      |
|----------------------------|--------------|---------------|
| PEA Ocupada                | 2 123        | 39,27         |
| PEA Desocupada             | 75           | 1,39          |
| No PEA                     | 3 208        | 59,34         |
| <b>Total</b>               | <b>5 406</b> | <b>100,00</b> |
| <b>NSA (No se Aplicó):</b> | <b>793</b>   |               |

**Fuente:** INEI-Censo 2007.

#### **2.1.2.4. Principales indicadores económicos**

El Tabla 6, indica que el 59,8 % de la población vive en pobreza, mientras que el 21,7 % vive en extrema pobreza (INEI-Censo 2007). Por otra parte el Tabla 7 indica el 88,88% de alfabetismo y 75,22 % de escolaridad de la población en el distrito La Florida.

**Tabla 06. Población y niveles de pobreza**

| Población | Hombres |      | Mujeres |      | Urbana | Rural | Pobreza | Pobreza extrema | Gasto mensual per cápita |
|-----------|---------|------|---------|------|--------|-------|---------|-----------------|--------------------------|
|           | Nº      | %    | Nº      | %    | %      | %     | %       | %               | N.S.                     |
| 6 199     | 3 217   | 51,9 | 2 982   | 48,1 | 57,6   | 42,4  | 59,8    | 21,7            | .....                    |

Fuente: INEI-Censo 2007.

**Tabla 07. Índice de desarrollo humano**

| País/<br>departamento/<br>distrito | Índice de desarrollo humano |        | Esperanza de vida al nacer | Alfabetismo | Escolaridad | Ingreso familiar Per cápita |
|------------------------------------|-----------------------------|--------|----------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
|                                    | IDH                         | Rankin | Años                       | %           | %           | N.S. / Mes                  |
| Perú                               | 0,6234                      |        | 73,07                      | 92,86       | 85,71       | 374,1                       |
| Amazonas                           | 0,5736                      | 18     | 72,40                      | 88,04       | 78,56       | 204,7                       |
| Florida                            | 0,5757                      | 809    | 72,10                      | 88,88       | 75,22       | 239,1                       |

Fuente: PNUD – IDH 2011.

### 2.1.3. Características fisiográficas

#### 2.1.3.1. Relieve

El ámbito distrital presenta una topografía accidentada con presencia de quebradas y un relieve colinoso en el orden de 15 a 50 % (ondulado ha quebrado), presentándose asimismo cerros y montañas con pendientes superiores al 25 %, contrastando con colinas de pendientes suaves y pampas de pastos naturales y cultivados que embellecen el panorama turístico de la zona. En estas áreas de pendientes suaves se dan las condiciones para la instalación de sistemas de riego por gravedad y tecnificado (aspersión).

### 2.1.3.2. Zonas de vida

Las zonas de vida distrital está conformado por un bosque húmedo montano, presentando condiciones que van de bosques muy húmedos a bosques húmedos tropicales, pajonales y tierras de inundación.

### 2.1.3.3. Capacidad de uso mayor de suelos (CUM)

La microcuenca de Pomacochas – Florida, tiene un área de 6 387,69 ha, distribuidas según su capacidad de uso mayor de la siguiente manera: 11,32 % corresponde a protección, 11,14 % a pastos, 6,75 % cultivos permanente, 62,60 % producción forestal (Oliva, *et al.*, 2014).

**Tabla 08. Capacidad de uso mayor de la microcuenca de Pomacochas**

| <b>Capacidad de uso mayor (CUM)</b> | <b>Área<br/>(ha)</b> | <b>Porcentaje<br/>(%)</b> |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------------|
| Cultivo permanente                  | 430,9                | 6,75                      |
| Pastos                              | 711,6                | 11,14                     |
| Producción forestal                 | 3 999                | 62,60                     |
| Protección                          | 723,4                | 11,32                     |
| Cuerpos de agua                     | 454,3                | 7,11                      |
| Zona urbana                         | 68,49                | 1,07                      |

**Fuente:** Oliva *et al.*, 2014.

## 2.2. Metodología

### 2.2.1. Materiales

#### 2.2.1.1. Trabajos preliminares

Para desarrollar los trabajos preliminares se utilizó una laptop y los siguientes softwares:

- Microsoft Office 2013.
- AutoCAD 2014.
- ArcGis 10.3.
- MapSource.

### **2.2.1.2. Trabajos de campo**

En los trabajos de campo se utilizó los siguientes materiales, herramientas y equipos:

#### **Materiales**

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| - Lapiceros.        | - Sacos.              |
| - Libreta de campo. | - Marcador.           |
| - Fichas de campo.  | - Cinta masking tape. |
| - Bolsas plásticas. | - Lápiz.              |

#### **Herramientas**

- |                 |  |
|-----------------|--|
| - Machete.      | - Wincha.                                    |
| - Pico.         | - Cilindro muestreador de densidad aparente. |
| - Palana recta. |  |
| - Barreta.      |  |

#### **Equipos**

- |                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| - Navegador GPS.                | - Trípode. |
| - Cámara<br>fotográfica digital | - Vernier. |

### **2.2.1.3. Análisis de laboratorio**

Las muestras para ser procesadas en el laboratorio se utilizaron los siguientes materiales, reactivos y equipos:

### **Materiales**

- Erlenmeyer.
- Pipetas.
- Buretas.
- Vaso de precipitados.
- Tubos de ensayo.
- Vortex.
- Gradillas para tubos de ensayo.
- Picetas.
- Cronómetro.
- Cajas de cartón.

### **Reactivos**

- Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$  1N).
- Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).
- Difenilamina ( $C_{12}H_{11}N$ ).
- Sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ).
- Bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ).
- Tartrato de antimonio y potasio ( $C_8H_4K_2O_{12}Sb_2 \cdot 3H_2O$ ).
- Molibdato de antimonio [ $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ].
- Ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ).

### **Equipos**

- Balanza analítica de 0,01 de precisión.
- Espectrofotómetro.
- Estufa.
- Potenciómetro.
- Campana extractora de gases.
- Agitadores.

#### **2.2.2. Trabajos preliminares**

- a. Se recopiló información bibliográfica y cartográfica existente de instituciones como el Instituto Geográfico Nacional (ING), Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable Ceja de Selva (INDES-CES), y de la Zonificación

Ecológica Económica (ZEE) del Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP).

- b. Usando como base la clasificación de suelos de la microcuenca de Pomacochas, se elaboró el mapa de ubicación de los sistemas y calicatas, haciendo uso del software ArcGis 10,3.
- c. Se realizó el reconocimiento insitu del lugar, para contrastar los sistemas a evaluar, identificados mediante imágenes satelitales.

### **2.2.3. Trabajos de campo**

Para el trabajo de campo se siguió la siguiente metodología:

- a. Georeferenciación de los sistemas a campo abierto, sistemas forestales y sistemas silvopastoriles, utilizando un GPS Garmin 550 Oregón, para luego ser procesados con la ayuda del software ArcGis 10,3 y MapSource.
- b. Selección de las parcelas en base a los siguientes criterios:
  - Fincas en las que se practica el mismo tipo de explotación ganadera.
  - Parcelas que no han sufrido quemas durante los últimos 10 años.
  - El manejo de la pastura en términos de especie, edad, fertilización, malezas, tiempos de utilización de la pastura, fueron lo más parecidos posibles.
  - En los bosques en los últimos 5 años como mínimo no hayan intervenido el hombre.
  - Los sistemas silvopastoriles tuvieron las mismas especies de aliso (*Alnus acuminata*), y su edad comprendida entre 5 y 15 años.
- c. En cada sistema de uso del suelo se establecieron tres puntos de muestreo en un recorrido lineal de longitud variable. Los tres puntos de muestreo consistieron en la construcción de tres calicatas con una dimensión de 1m

largo x 1m ancho x 0,6 m profundidad, cada calicata representó una unidad muestral, distribuidas según la forma o área del terreno. En cada punto de muestreo se tomaron las muestras del suelo, a tres profundidades distintas de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm, para la determinación de carbono orgánico en laboratorio y su densidad aparente.

Los sistemas evaluados fueron los siguientes:

La Figura 02, indica los sistemas de manejo de suelos que fueron evaluados, donde se tomaron 2 áreas de cada sistema respectivamente, en las cuales se construyeron 3 calicatas para cada una de ellas. Asimismo se muestra la distancia entre el borde del área y los puntos de muestreo que fue al menos de 2 m, con el fin de evitar tomar muestras en áreas compactadas.

**Tabla 09. Ubicación de las unidades de muestreo en los sistemas de manejo de suelos.**

| Sistemas                      | Calicata    | Coordenadas |         | Altura (m) |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------|------------|
|                               |             | Este        | Norte   |            |
| Sistema a campo abierto (SCA) | SCA1-Cal 01 | 171849      | 9355311 | 2221       |
|                               | SCA1-Cal 02 | 171812      | 9355410 | 2225       |
|                               | SCA1-Cal 03 | 171769      | 9355534 | 2235       |
|                               | SCA2-Cal 01 | 172050      | 9355403 | 2220       |
|                               | SCA2-Cal 02 | 172022      | 9355435 | 2224       |
|                               | SCA1-Cal 03 | 171992      | 9355463 | 2225       |
| Sistema forestal (SF)         | SF1-Cal 01  | 171866      | 9355509 | 2233       |
|                               | SF1-Cal 02  | 171830      | 9355559 | 2238       |
|                               | SF1-Cal 03  | 171859      | 9355617 | 2243       |
|                               | SF2-Cal 01  | 171786      | 9355540 | 2240       |
|                               | SF2-Cal 02  | 171884      | 9355581 | 2242       |
|                               | SF1-Cal 03  | 171865      | 9355613 | 2244       |
| Sistema silvopastoril (SSP)   | SSP1-Cal 01 | 171646      | 9355267 | 2231       |
|                               | SSP1-Cal 02 | 171681      | 9355232 | 2232       |
|                               | SSP1-Cal 03 | 171700      | 9355205 | 2237       |
|                               | SSP2-Cal 01 | 171869      | 9355673 | 2244       |
|                               | SSP2-Cal 02 | 171888      | 9355667 | 2245       |
|                               | SSP2-Cal 03 | 171842      | 9355718 | 2254       |

**Fuente:** Elaboración propia.

En el Tabla 9 se indica las coordenadas UTM y altitud de cada unidad de muestreo (UM) de cada sistema respectivamente.

d. Para la construcción de las calicatas se utilizó pico y palana recta con los cuales se eliminó de la parte superficial, el material vegetal, y se excavó 1 m largo x 1 m ancho x 0,6 m profundidad; para determinar el carbono orgánico se tomó aproximadamente 1kg de suelo, para extraer las muestras se midió con una wincha y se dividió la calicata en tres secciones de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm, las muestras fueron extraídas de la parte más profunda (40 – 60 cm) hacia la menos profunda (0 – 20 cm), para evitar que estas se contaminen.

La toma de muestras para determinar la densidad aparente se utilizó el cilindro muestreador de densidad aparente de un volumen de 202,7 cm<sup>3</sup>.

Las muestras tomadas fueron colocadas en bolsas herméticas, cuidadosamente etiquetadas, para su identificación con datos de: nombre y número del sistema, número de punto de muestreo, nombre de la muestra, profundidad de muestreo, hora y fecha, estos datos se registraron con un marcador indeleble.

Las muestras tomadas fueron enviadas al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza para su análisis respectivo.

e. Así mismo se tomaron muestras de pasto para determinar el rendimiento de pasto/ha, estas muestras fueron tomadas en los sistemas a campo abierto y sistemas silvopastoriles, para la toma de muestras se dividió a la parcela en tres secciones, en cada sección se tomaron 5 muestras obteniendo un total de 15 muestras las cuales se homogenizaron en costales y se tomó una muestra representativa de un aproximado de 400 g.

La muestra se identificó con el nombre del propietario, tipo de sistema, número de parcela, nombre de la muestra y fecha, luego se trasladó al laboratorio para su análisis correspondiente.

- f. Se realizó la prueba de composición florística en las parcelas seleccionadas, para conocer las especies de pasturas y su distribución. Esto se realizó mediante transectos lineales de 50 m, trazándose en la parte más uniforme del área, dicho transecto se dividió cada 50 cm, obteniendo un total de 100 puntos de contacto, luego usando una varilla de fierro de 50 cm se intersectó en cada punto y se registró la especie en contacto. De acuerdo a la frecuencia de especie que se registre a lo largo del transecto representará su porcentaje.
- g. Para caracterizar los sistemas se realizó la medición de la altura y diámetro de los árboles en los sistemas forestales y silvopastoriles, para medición de la altura se utilizó el distanciómetro y para el diámetro la forcípula.

#### **2.2.4. Análisis de muestras en laboratorio**

Después de ser tomadas las muestras en campo, se trasladaron al Laboratorio de Aguas y Suelos de la UNTRM, donde en primer lugar fueron recepcionadas por el responsable, en seguida se pusieron en depósitos de porcelana bien identificados para el secado en las estufas a temperatura de 40 °C por un tiempo de 48 h. Una vez las muestras bien secas se trituraron en un mortero y se pasaron por un tamiz de 2 mm de diámetro y se almacenaron en depósitos de plástico para en seguida realizar los análisis correspondientes.

### 2.2.4.1. Determinación de carbono orgánico

Los análisis en laboratorio se realizaron mediante el método de Walkley & Black.

**a. Método de Walkley & Black:** En este método la materia orgánica fue oxidada por la combinación de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$  1N) más ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Posteriormente el exceso de  $K_2Cr_2O_7$  fue determinada titulación con Sal de Mohr.

- Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica 0,5 g y puestas en un matraz de 150 ml cada una, luego se agregó con ayuda de una pipeta bajo una campana extractora de gases tóxicos 10 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico, se dejó reaccionar por 10 min. y se aforó a 100 ml con agua destilada y luego se dejó reposar por 2 h.

Después de las 2 h se tomó una alícuota con una pipeta de 10 ml en un vaso de 50 ml de capacidad, se agregó 3 gotitas del indicador difenilamina sulfúrica y se tituló con la sal de Mohr 0.5 N, contenida dicha solución en un equipo de titulación graduado, la titulación finalizó cuando la muestra tomó un color verde oscuro. Con el dato del gasto de la titulación se procedió a realizar los cálculos con la siguiente fórmula:

$$\% C.O = \frac{\left(10 - Gm * \frac{10}{Gb}\right) 4mg C * 100}{Peso muestra (mg)}$$

Donde:

Gm: Gasto de la muestra (ml).

Gb: Gasto del blanco (ml).

Adyacente al procesamiento de las muestras se trabajó un blanco, para conocer la normalidad del dicromato de potasio y poder calcular la cantidad de oxidante que reaccionó con la muestra.

El blanco fue preparado con los mismos reactivos que se empleó en las muestras de suelo solo con la diferencia que este matraz no lleva muestra de suelo.

#### **2.2.4.2. Determinación de densidad aparente**

Las muestras que fueron tomadas en campo con el cilindro muestreador de densidad aparente, se colocaron en cajas de cartón, estas cajas previamente fueron pesadas, una vez las muestras colocadas cada una en una caja se colocó en la estufa a una temperatura de 105 °C, por un tiempo de 24 h, transcurrido este tiempo se pesó las muestras y se realizaron los cálculos.

**Cálculos:**

$$Densidad\ Aparente = \frac{PSSE}{V_C}$$

$$Volumen\ del\ cilindro\ (V_C) = \pi * r^2 * h$$

Donde:

*PSSE*: Peso del suelo seco a estufa.

r = 2,5 cm.

h = 10 cm.

#### **2.2.4.3. Determinación de materia seca de pastos**

Las muestras tomadas en campo se pesaron 250 g, se colocaron en cajas de cartón y se pusieron en la estufa a temperatura de 80 °C por 48 h,

pasado este tiempo se registró los pesos y se procedió a realizar los cálculos correspondientes.

**Cálculos:**

$$\% \text{ Materia Seca} = \frac{\text{Peso muestra seca}}{\text{Peso de muestra húmeda}} \times 100$$

**2.2.4.4. Determinación de características fisicoquímicas del suelo**

Para poder caracterizar los sistemas en estudio se realizó a las muestra de suelo análisis de pH, conductividad eléctrica, fósforo, nitrógeno y materia orgánica.

- Para determinar el pH, se trabajó en relación 1:1 (soluto: solvente) y se dio lectura la muestra en el Potenciómetro, esta misma muestra se dejó reposar 5 min. y se dio lectura con el Conductímetro para obtener la conductividad eléctrica.
- Para calcular el fósforo se pesó 2,5 g de suelo en una balanza analítica y se puso en un frasco de plástico, se agregó 25 ml de bicarbonato de sodio, se agitó por 20 min. , se dejó reposar 30 min, y se realizó el filtrado utilizando papel filtro N° 4, del filtrado se tomó 1,5 ml con una pipeta y se colocó en un tubo de ensayo, se agregó 5 ml de la solución Olsen, se homogenizó la muestra y se dio lectura en el Espectofotómetro a 660 nanómetros de longitud de onda en modo absorbancia.
- El nitrógeno y la materia orgánica se obtuvieron a partir de la determinación del carbono orgánico, para la materia orgánica se

multiplicó el % de carbono orgánico x 1,724 y de este resultado se sacó el 5 % para el nitrógeno.

#### 2.2.4.5. Estimación del carbono en el suelo de la microcuenca

El COS que almacena cada sistema se calculó por hectárea, se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$W_s = a \times P \times \rho$$

Donde:

$W_s$  = Peso del suelo;  $a$  = área (ha);  $P$  = profundidad (m);

$\rho$  = densidad aparente del suelo ( $\text{kg/m}^3$ ).

Luego:

$$\text{C.O. tm/ha} = W_s * \% \text{ C.O.}$$

Donde:

C.O.: Carbono Orgánico;  $W_s$ : Peso del suelo calculado;

CO = % de carbono orgánico calculado en laboratorio.

#### 2.2.4.6. Conversión del carbono orgánico a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Después de haber calculado la cantidad de carbono orgánico que almacena cada sistema, se convirtió el carbono orgánico a moléculas de  $\text{CO}_2$ , para esto se utilizará el siguiente factor de corrección:

$$\text{Factor de corrección} = \frac{44}{12} = 3,66$$

Entonces:

$$TM \text{ CO}_2 = FC \times \text{C.O.}$$

Donde:

FC: Factor de corrección.

C.O.: Carbono orgánico almacenado en el sistema.

#### **2.2.5. Procesamiento de la información**

Después de que las muestras han sido procesadas en el laboratorio y se han obtenido los resultados se realizó la interpretación de los datos utilizando el paquete de Statistix 8. Se realizó un análisis de varianza a todos nuestros tratamientos, así mismo se realizó una prueba de Tukey para hacer una comparación múltiple entre la variable dependiente y las variables independientes.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de los sistemas

a. **Sistemas a campo abierto (Figura 03):** Este sistema es administrado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza en convenio con la Comunidad Campesina del distrito La Florida bajo la modalidad de cesión en uso, tiene un área de 26 048,50 m<sup>2</sup>, con fisiografía plana, asimismo en esta área se pastorean un promedio de 15 ganados vacunos de la raza Santa, Fleckvieh y Brown Swiss. Las especies de pasto instaladas en esta área son: Trébol (*Trifolium repens*), Rye grass (*Lolium perenne*), grama azul (*Poa pratensis*), con un rendimiento de pastura de 15 tm ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, y una carga animal de 2,17 unidad animal ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>.

- **Ubicación:** El sistema a campo abierto se encuentra ubicado a una altitud de 2221 msnm con coordenadas E: 171849 y N: 9355311.

- **Antecedentes:** El área en un aproximado de 50 años atrás contemplaba un enorme bosque de alisos, los cuales formaban enormes bosques forestales, sin embargo por el año 70 cuando el distrito La Florida empieza a ser un lugar bien visitado por su atractivo turístico tan importante como es la laguna de Pomacochas, se inician las migraciones a dicho lugar lo que originó un crecimiento poblacional, por esta razón se dan inicios a las actividades económicas de manera más intensa, incrementando la frontera agrícola, es así como se empieza a deforestar estas áreas en un inicio para la agricultura y posterior a esta actividad se instaló los cultivos de pasto para la crianza del ganado, por la razón que por ser llanuras es un lugar muy apropiado para la crianza de ganado vacuno de carne y de leche. Siendo en la actualidad el distrito La Florida-Pomacochas considerada como una de las microcuencas ganaderas más importantes por la crianza del ganado vacuno de diferentes razas.
- **Sistema de manejo:** El sistema presenta un manejo de ganadería extensiva, el pastoreo se realiza bajo los sistemas de cercos eléctricos.

Rendimiento de pasto: 15 tm ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Carga animal: 2,17 unidad animal ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

- **Pastos:**

**Especie de pasto:** Realizando un análisis de la composición florística de la pradera se encontró las siguientes especies: rye gras (*Lolium perenne*), grama azul (*Poa pratensis*) y trébol (*Trifolium repens*).

**Porcentaje:** En un 40 % el área está cubierta de la grama azul (*Poa pratensis*), un 25 % de trébol (*Trifolium repens*) y un 35 % presenta rye gras (*Lolium perenne*).

- **Suelos:** Los suelos de esta área son de fisiografía plana, se encuentran en su mayoría compactados por el pastoreo del ganado y por no presentar especies de árboles que protejan al suelo de la radiación solar. En la tabla 10, se muestra las características físico químicas que presentan los suelos del área de estudio.

**Tabla 10. Características físicas y químicas de los suelos del sistema a campo abierto.**

| <b>Muestras</b>                  | <b>pH<br/>(1:1)</b> | <b>CE.<br/>(ms/cm)</b> | <b>M.O<br/>(%)</b> | <b>N<br/>(%)</b> | <b>P<br/>(ppm)</b> |
|----------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| SAC1-CAL1                        | 7,8                 | 0,4                    | 6,3                | 0,3              | 7,4                |
| SAC1-CAL2                        | 6,2                 | 0,2                    | 7,8                | 0,4              | 8,5                |
| SAC1-CAL3                        | 7,4                 | 0,4                    | 7,5                | 0,4              | 4,7                |
| SAC2-CAL1                        | 6,8                 | 0,3                    | 6,5                | 0,3              | 5,8                |
| SAC2-CAL2                        | 7,5                 | 0,3                    | 8,6                | 0,4              | 5,2                |
| SAC2-CAL3                        | 7,8                 | 0,3                    | 9,3                | 0,5              | 8,7                |
| <b>Media</b>                     | <b>7,25</b>         | <b>0,32</b>            | <b>7,67</b>        | <b>0,38</b>      | <b>6,72</b>        |
| <b>Desviación estándar</b>       | <b>0,63</b>         | <b>0,07</b>            | <b>1,17</b>        | <b>0,08</b>      | <b>1,72</b>        |
| <b>Varianza</b>                  | <b>0,40</b>         | <b>0,006</b>           | <b>1,36</b>        | <b>0,006</b>     | <b>2,96</b>        |
| <b>Coefficiente de variación</b> | <b>0,09</b>         | <b>0,22</b>            | <b>0,15</b>        | <b>0,21</b>      | <b>0,26</b>        |
| <b>Mínimo</b>                    | <b>6,20</b>         | <b>0,20</b>            | <b>6,30</b>        | <b>0,30</b>      | <b>4,70</b>        |
| <b>Máximo</b>                    | <b>7,80</b>         | <b>0,40</b>            | <b>9,30</b>        | <b>0,50</b>      | <b>8,70</b>        |

Estos suelos presentan un pH ligeramente alcalino con una media de 7,25, conductividad eléctrica de 0,32 ms/cm que indica que el suelo es ligeramente salino, materia orgánica 7,67 %, este valor indica un contenido alto de materia orgánica, nitrógeno total 0,38 % representado un nivel elevado de N en el suelo, y fósforo total 6,72 ppm el cual representa una concentración media de fósforo en los suelos de la parcela estudiada.

- b. Sistemas forestales (Figura 04):** Este sistema es administrado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza en convenio con la Comunidad Campesina del distrito La Florida bajo la modalidad de cesión en uso, tiene un área de 12 401,31 m<sup>2</sup>, con fisiografía plana, asimismo en esta área predominan las plantaciones de aliso en una edad promedio de 25 años.
- **Ubicación:** El sistema forestal se encuentra ubicado a una altitud de 2 238 msnm con coordenadas E: 171830 y N: 9355559.

- **Antecedentes:** Hace 50 años atrás en el distrito La Florida existían especies forestales como ishpingo, putquero, palo de balsa, morochillo, alisos, etc. estas especies no eran taladas porque en ese entonces el distrito no estaba bien poblado, y las áreas que utilizaban para la agricultura y la crianza del ganado no eran muy extensas.

Al transcurrir el tiempo se produjeron migraciones hacia el distrito La Florida lo que va ocasionando a causa de la sobrepoblación la deforestación en todo el ámbito de la microcuenca, es así que se talan las áreas incluso cercanas a la laguna de Pomacochas; sin embargo al ver la importancia turística que fue teniendo la laguna, los pobladores distrito La Florida optaron por conservar en el terreno municipal especies forestales de aliso, con la finalidad de mejorar la belleza paisajística en áreas cercanas a la laguna, en la actualidad hay áreas forestales cercanas a la laguna de Pomacochas con más de 30 años que el hombre no tiene intervención en ellas.

En este sistema forestal se encuentra las siguientes plantaciones:

**Árboles:** Alisos (*Alnus acuminata*), moras, putqueros.

**Arbustos:** Matico, chiscas.

**Herbáceas:** Huacacho, cortaderas, ñudillo, etc.

Las plantaciones de aliso presentan las siguientes características:

Edad : 30 años.

DAP promedio : 29 cm.

Altura promedio : 25.67 m.

Diámetro de copa promedio: 4.4 m.

Tipo de plantación : Distribución en potreros.

- **Suelos:** Los suelos son de fisiografía plana, en un 90 % el suelo de estas áreas están cubierta por plantaciones de aliso. En la tabla 11 se muestra las características fisicoquímicas que presentan los suelos.

**Tabla 11. Características físicas y químicas de los suelos del sistema forestal**

| <b>Muestras</b>                  | <b>pH<br/>(1:1)</b> | <b>C.E.<br/>(ms/c)</b> | <b>M. O<br/>(%)</b> | <b>N<br/>(%)</b> | <b>P<br/>(ppm)</b> |
|----------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| SF1-CAL1                         | 7,9                 | 0,2                    | 14,1                | 0,7              | 4,9                |
| SF1-CAL2                         | 7,9                 | 0,2                    | 16,4                | 0,8              | 4,6                |
| SF1-CAL3                         | 7,7                 | 0,3                    | 15,2                | 0,8              | 9,9                |
| SF2-CAL1                         | 6,8                 | 0,1                    | 15,9                | 0,8              | 24,3               |
| SF2-CAL2                         | 7,5                 | 0,2                    | 22,1                | 1,1              | 35,3               |
| SF2-CAL3                         | 7,4                 | 0,3                    | 25,3                | 1,3              | 26,4               |
| <b>Media</b>                     | <b>7,53</b>         | <b>0,22</b>            | <b>18,17</b>        | <b>0,92</b>      | <b>17,57</b>       |
| <b>Desviación estándar</b>       | <b>0,41</b>         | <b>0,08</b>            | <b>4,47</b>         | <b>0,23</b>      | <b>12,85</b>       |
| <b>Varianza</b>                  | <b>0,17</b>         | <b>0,006</b>           | <b>19,99</b>        | <b>0,05</b>      | <b>165,04</b>      |
| <b>Coefficiente de variación</b> | <b>0,05</b>         | <b>0,36</b>            | <b>0,25</b>         | <b>0,25</b>      | <b>0,73</b>        |
| <b>Mínimo</b>                    | <b>6,80</b>         | <b>0,10</b>            | <b>14,10</b>        | <b>0,70</b>      | <b>4,60</b>        |
| <b>Máximo</b>                    | <b>7,90</b>         | <b>0,30</b>            | <b>25,30</b>        | <b>1,30</b>      | <b>35,30</b>       |

**Fuente:** Elaboración propia.

Estos suelos presentan un pH ligeramente alcalino con una media de 7,53, conductividad eléctrica de 0,22 ms/cm que indica que el suelo es ligeramente salino, materia orgánica 18,17 % representando un valor elevado en contenido de materia orgánica, nitrógeno total alto con 0,92 % y fósforo total 17,57 ppm el cual representa una concentración alta de fósforo en los suelos de la parcela estudiada.

c. **Sistemas silvopastoriles (Figura 05):** Este sistema pertenece a la propiedad de la Comunidad Campesina San Lucas Pomacochas del distrito La Florida, tiene un área de 10 548 m<sup>2</sup>, con fisiografía plana, asimismo en esta área se pastorean un promedio de 15 ganados vacunos de la raza Santa, Fleckvieh y Brown Swiss. Las especies de pasto instaladas en esta área son: Trébol (*Trifolium repens*), Rye grass (*Lolium perenne*), y grama azul (*Poa pratensis*), con un rendimiento de pastura de 21,6 tm ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y una carga animal de 3,1 unidad animal ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>.

- **Ubicación:** El sistema silvopastoril se encuentra ubicado a una altitud de 2232 msnm con coordenadas E: 171687 y N: 9355232.

- **Antecedentes:** El distrito La Florida en un inicio presentaba bastante áreas de terrenos sin dueños, es así que dichas tierras se constituyeron tierras comunales, desde mediados de los años 70 que se viene desarrollando actividades de agricultura y ganadería en el distrito La Florida, estas áreas fueron intervenidas por los comuneros para la instalación de pastos para el arriendo y de esta manera generar ingresos para la comunidad. Los bosques fueron destruidos casi en su totalidad, la práctica de manejo que los comuneros tenían radicaba en dejar el área libre de plantaciones para poder instalar los pastizales.

Sin embargo desde el año 2000, al observar los incrementos de temperatura, frente a la necesidad de generar sombra para el ganado y para sus pastos, los comuneros iniciaron sembrando plantaciones de aliso en los cercos y al observar que en épocas de verano el pasto adyacente a las plantaciones se mantenía bien vigoroso por la humedad y la sombra que las plantaciones de aliso brindan a los pastos, los comuneros deciden sembrar las plantaciones de aliso asociados el sembrío de sus patos. Es así que el área en estudio aún tiene una edad de 6 años en el cultivo asociado de plantaciones de alisos con pastizales.

- **Sistema de manejo:** En este sistema silvopastoril se viene practicando una ganadería extensiva

Rendimiento de pastura: 21,6 tm ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Carga animal: 3,1 unidad animal ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

- **Pastos:**

**Especie de pasto:** Realizando un análisis de la composición florística de la pradera se encontró las siguientes especies: grama azul (*Poa pratensis*), rye grass (*Lolium perenne*) y el trébol (*Trifolium repens*).

**Porcentaje:** El área en un 40 % está cubierta de grama azul (*Poa pratensis*), 20 % de trébol (*Trifolium repens*), y 40 % de rye grass (*Lolium perenne*).

- **Árboles:** En el presente sistemas silvopastoril se encuentra las plantaciones de alisos, asociadas a los cultivos de pastos. Las plantaciones de aliso presentan las siguientes características:

|                           |             |
|---------------------------|-------------|
| Edad                      | : 6 años.   |
| DAP promedio              | : 8,72 cm.  |
| Altura promedio           | : 10,36 m.  |
| Diámetro de copa promedio | : 2,40 m.   |
| Tipo de plantación        | : Cuadrado. |

- **Suelos:** Los suelos son de fisiografía plana, las plantaciones de aliso proporcionan bastante sombra y humedad a este sistema, así mismo evitan que la radiación solar llegue en forma directa al suelo. En la tabla 12 se muestra las características fisicoquímicas que presentan los suelos.

**Tabla 12. Características físicas y químicas de los suelos del sistema silvopastoril.**

| <b>Muestras</b>                  | <b>pH (1:1)</b> | <b>C.E.<br/>(ms/cm)</b> | <b>M. O<br/>(%)</b> | <b>N<br/>(%)</b> | <b>P<br/>(ppm)</b> |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| SSP1-CAL1                        | 5,1             | 0,2                     | 2,9                 | 0,2              | 4,2                |
| SSP1-CAL2                        | 4,9             | 0,2                     | 8,1                 | 0,4              | 4,4                |
| SSP1-CAL3                        | 5,2             | 0,4                     | 10,9                | 0,5              | 7,6                |
| SSP2-CAL1                        | 5,9             | 0,5                     | 2,2                 | 0,1              | 6,3                |
| SSP2-CAL2                        | 7,4             | 0,4                     | 6,4                 | 0,3              | 7,3                |
| SSP2-CAL3                        | 7,7             | 0,4                     | 10,0                | 0,5              | 8,3                |
| <b>Media</b>                     | <b>6,03</b>     | <b>0,35</b>             | <b>6,75</b>         | <b>0,33</b>      | <b>6,35</b>        |
| <b>Desviación estándar</b>       | <b>1,23</b>     | <b>0,12</b>             | <b>3,61</b>         | <b>0,16</b>      | <b>1,71</b>        |
| <b>Varianza</b>                  | <b>1,50</b>     | <b>0,02</b>             | <b>13,05</b>        | <b>0,03</b>      | <b>2,93</b>        |
| <b>Coefficiente de variación</b> | <b>0,20</b>     | <b>0,34</b>             | <b>0,53</b>         | <b>0,48</b>      | <b>0,27</b>        |
| <b>Mínimo</b>                    | <b>4,90</b>     | <b>0,20</b>             | <b>2,20</b>         | <b>0,10</b>      | <b>4,20</b>        |
| <b>Máximo</b>                    | <b>7,70</b>     | <b>0,50</b>             | <b>10,90</b>        | <b>0,50</b>      | <b>8,30</b>        |

Estos suelos presentan un pH ligeramente ácido con una media de 6,05, conductividad eléctrica 0,34 ms/cm que indica que el suelo es ligeramente salino, materia orgánica 6,75 %, este valor indica un contenido alto de materia orgánica, nitrógeno total 0,34 % representado un nivel elevado de N en el suelo y fósforo total 6,35 ppm el cual representa una concentración media de fósforo en los suelos de la parcela estudiada.

### **3.2. Sistema que almacena mayor cantidad de carbono orgánico**

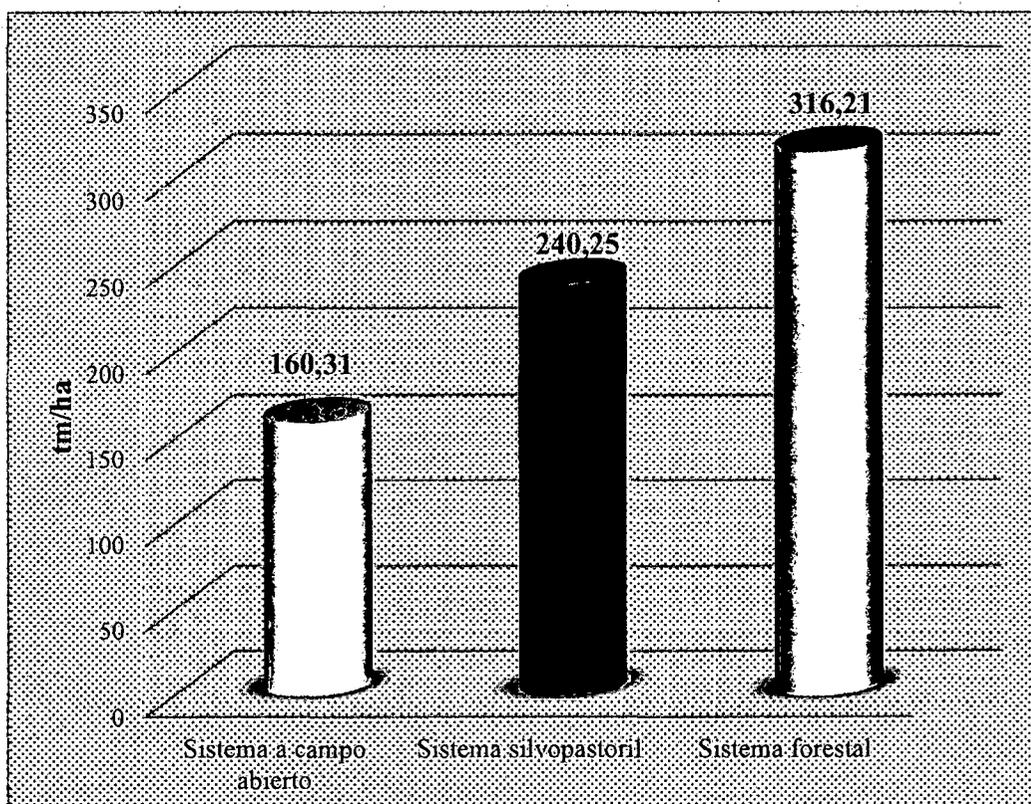
Según la prueba estadística de Tukey realizada con el Software Statistix 8, con un grado de confianza de  $\alpha = 0,05$ , se observa que hay una diferencia significativa entre los sistemas en el almacenamiento de carbono orgánico. Siendo las medias del carbono orgánico almacenado del sistema a campo abierto 2,6778, sistema forestal 6,9611 y sistema silvopastoril 3,7750 (Tabla 13).

**Tabla 13. Comparación del carbono orgánico con los sistemas de manejo de suelos**

| Sistema | Media  | Homogeneidad de los grupos |
|---------|--------|----------------------------|
| 2 (SF)  | 6,9611 | A                          |
| 3 (SSP) | 3,7750 | B                          |
| 1 (SCA) | 2,6778 | C                          |

Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas forestales (Figura 06), almacenan mayor cantidad de carbono orgánico en los suelos, almacenan un promedio de 316,21  $\text{tm C ha}^{-1}$ , en seguida están los sistemas silvopastoriles que almacenan 240,25  $\text{tm C ha}^{-1}$  y en último lugar están los sistemas a campo abierto almacenando 160,31  $\text{tm C ha}^{-1}$ .



**Figura 06. Carbono orgánico almacenado en los sistemas de manejo de suelos**

### 3.3. Estimación del carbono orgánico en función de la profundidad

La comparación del carbono orgánico con la profundidad se realizó con un grado de significancia de  $\alpha = 0,05$ , obteniendo que no existe homogeneidad entre las profundidades en el almacenamiento de carbono orgánico, las 3 profundidades son significativamente diferentes (Tabla 14).

**Tabla 14. Comparación del carbono orgánico con las 3 profundidades**

| <b>Profundidad</b> | <b>Media</b> | <b>Homogeneidad de los grupos</b> |
|--------------------|--------------|-----------------------------------|
| 1 (0 - 20 cm)      | 6,9294       | A                                 |
| 2 (20 - 40 cm)     | 3,7778       | B                                 |
| 3 (40 - 60 cm)     | 2,7067       | C                                 |

- a) En las parcelas de sistemas de campo abierto el porcentaje de carbono orgánico almacenado en los suelos se encuentran a mayor concentración en los 20 primeros centímetros, el porcentaje de carbono orgánico va disminuyendo a medida que la profundidad es mayor. Es así que en función de la profundidad y el porcentaje de carbono orgánico almacenado tenemos  $0 - 20 \text{ cm} > 20 - 40 \text{ cm} > 40 - 60 \text{ cm}$  (Tabla 15).

**Tabla 15. Carbono orgánico almacenado en sistema a campo abierto en función de la profundidad**

| <b>Muestras</b> | <b>Profundidad</b> | <b>tm C ha<sup>-1</sup></b> |
|-----------------|--------------------|-----------------------------|
| SCA             | 0 - 20 cm          | 78,85                       |
| SCA             | 20 - 40 cm         | 49,61                       |
| SCA             | 40 - 60 cm         | 31,85                       |
| <b>TOTAL</b>    |                    | <b>160,31</b>               |

- b) En las parcelas evaluadas de sistemas forestales encontramos un nivel de concentración elevada de carbono orgánico almacenado, este porcentaje está almacenado en mayor cantidad en la capa superficial en los primero 20 cm, a medida que la profundidad va aumentando el carbono orgánico almacenado va

disminuyendo. Es así que en función de la profundidad y el porcentaje de carbono orgánico almacenado tenemos 0 - 20 cm > 20 - 40 cm > 40 - 60 cm (Tabla 16).

**Tabla 16. Carbono orgánico almacenado en sistema forestal en función de la profundidad**

| Muestras     | Profundidad | tm C ha <sup>-1</sup> |
|--------------|-------------|-----------------------|
| SF           | 0 - 20 cm   | 184,11                |
| SF           | 20 - 40 cm  | 80,78                 |
| SF           | 40 - 60 cm  | 51,32                 |
| <b>TOTAL</b> |             | <b>316,21</b>         |

Fuente: Elaboración propia.

- c) En las parcelas de sistemas silvopastoriles el porcentaje de carbono orgánico almacenado en los suelos se encuentran a mayor concentración en los 20 primeros centímetros, el porcentaje de carbono orgánico va disminuyendo a medida que la profundidad es mayor. Es así que en función de la profundidad y el porcentaje de carbono orgánico almacenado tenemos 0 - 20 cm > 20 - 40 cm > 40 - 60 cm (Tabla 17).

**Tabla 17. Carbono orgánico almacenado en sistema silvopastoril en función de la profundidad**

| Muestras     | Profundidad | tm C ha <sup>-1</sup> |
|--------------|-------------|-----------------------|
| SSP          | 0 - 20 cm   | 126,12                |
| SSP          | 20 - 40 cm  | 83,49                 |
| SSP          | 40 - 60 cm  | 30,64                 |
| <b>TOTAL</b> |             | <b>240,25</b>         |

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Cantidad de CO<sub>2</sub> que captura cada sistema

Así mismo el COS almacenado en los tres sistemas en estudio, evitan que el carbono orgánico se evapore a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>.

Los sistemas a campo abierto almacenan una cantidad de 160,31 tm C ha<sup>-1</sup> el cual equivale a la captura de 587,80 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> (Tabla 18).

**Tabla 18. CO<sub>2</sub> capturado en sistema a campo abierto**

| Muestras     | Profundidad | tm C ha <sup>-1</sup> | tm CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> |
|--------------|-------------|-----------------------|-------------------------------------|
| SCA          | 0 - 20 cm   | 78,85                 | 289,12                              |
| SCA          | 20 - 40 cm  | 49,61                 | 181,90                              |
| SCA          | 40 - 60 cm  | 31,85                 | 116,78                              |
| <b>TOTAL</b> |             | <b>160,31</b>         | <b>587,80</b>                       |

Los sistemas forestales almacenan una cantidad de 316,21 tm C ha<sup>-1</sup> el cual equivale a la captura de 1159,44 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> (Tabla 19).

**Tabla 19. CO<sub>2</sub> capturado en sistemas forestales.**

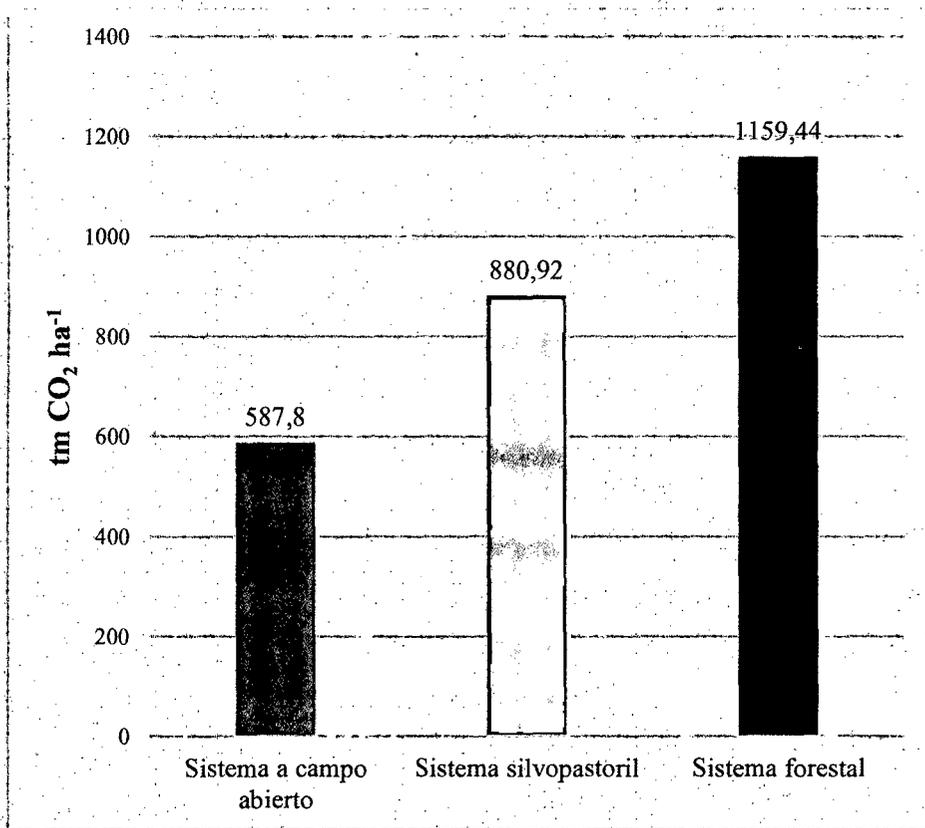
| Muestras     | Profundidad | tm C ha <sup>-1</sup> | tm CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> |
|--------------|-------------|-----------------------|-------------------------------------|
| SF           | 0 - 20 cm   | 184,11                | 675,07                              |
| SF           | 20 - 40 cm  | 80,78                 | 296,19                              |
| SF           | 40 - 60 cm  | 51,32                 | 188,17                              |
| <b>TOTAL</b> |             | <b>316,21</b>         | <b>1159,44</b>                      |

Los sistemas silvopastoriles almacenan una cantidad de 240,25 tm C ha<sup>-1</sup> el cual equivale a la captura de 880,92 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> (Tabla 20).

**Tabla 20. CO<sub>2</sub> capturado en sistemas silvopastoriles.**

| Muestras     | Profundidad | tm C ha <sup>-1</sup> | tm CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> |
|--------------|-------------|-----------------------|-------------------------------------|
| SSP          | 0 - 20 cm   | 126,12                | 462,44                              |
| SSP          | 20 - 40 cm  | 83,49                 | 306,13                              |
| SSP          | 40 - 60 cm  | 30,64                 | 112,35                              |
| <b>TOTAL</b> |             | <b>240,25</b>         | <b>880,92</b>                       |

En la Figura 08, se observa que el sistema forestal captura mayor cantidad de CO<sub>2</sub> (1159,44 tm) en comparación con el sistema a campo abierto y sistema silvopastoril, los cuales almacenan 587,8 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y 880,92 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> respectivamente.



**Figura 07.** Captura de CO<sub>2</sub> en los sistemas de manejo de suelos.

#### IV. DISCUSIÓN

Los sistemas forestales almacenan una cantidad significativa de carbono orgánico en los suelos, esto se debe a la mayor acumulación de biomasa que el suelo presenta por la variada presencia de árboles, así mismo por la razón que estos sistemas no son intervenidos por actividades humanas por lo que no son alteradas y el suelo tiene la capacidad de almacenar el carbono orgánico en mayor cantidad comparado con los otros sistemas estudiados.

Esto se corrobora con el trabajo de investigación de Dupouey *et al.*, (1999), quienes mencionan que los sistemas forestales contienen mayor cantidad de carbono orgánico por unidad de superficie que cualquier otro tipo de sistema o uso de la tierra y sus suelos, ya que contienen cerca del 40 % del total del carbono y son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques. Así mismo Alegre *et al.*, (2002), Lapeyre (2004), afirman que los sistemas de plantación conforme van incrementando su edad a través del tiempo, son más vigorosos y por lo tanto se produce mayor acumulación de biomasa; es decir, los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan los valores más altos de acumulación de carbono. Según Alegre *et al.*, (2004), mencionan que los sistemas permanentes y con mayor crecimiento presentan los valores más altos de acumulación de carbono, el bosque primario contiene un promedio de  $485 \text{ tm C ha}^{-1}$  (100%), valor que se reduce drásticamente si éste bosque se deforesta.

La bibliografía consultada tiene similitud con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación por la razón que el sistema forestal almacena  $316,21 \text{ tm C ha}^{-1}$  siendo este 49,3 % más que el sistema a campo abierto y 24,02 % más que el sistema silvopastoril.

Los sistemas silvopastoriles, después de los sistemas forestales son los más eficientes en el almacenamiento de carbono orgánico, esto se debe a la asociación de los pastos más árboles, cuanto más tiempo tienen las plantaciones es mayor la capacidad de un suelo de almacenar el carbono orgánico por la razón que los arboles cubren al suelo de la radiación

solar y estos evitan que el suelo sea calentado y el carbono orgánico sea evaporado como un gas de efecto invernadero. Los sistemas de pastoreo a campo abierto en comparación con los sistemas antes mencionados es un sistema de menor capacidad en el almacenamiento del carbono orgánico, por la razón que estos sistemas en su mayoría son mal manejados, el suelo es erosionado, y degradado. Así mismo la radiación solar llega directamente al suelo produciendo un calentamiento y esto ocasiona que el carbono orgánico por acción del calor se evapore a la atmósfera.

Esto se consolida con lo afirmado por Veldakamp (1993), quién indica que las pasturas mejoradas bajo sombra, retienen 60 % más carbono que las pasturas a pleno sol, debido a la mayor biomasa y longevidad radicular, así como al incremento de materia orgánica del suelo. Miranda *et al.*, (2007) consideran los sistemas silvopastoriles como una alternativa sostenible y viable, pues son capaces de generar servicios ambientales por constituir importantes sumideros de carbono y muy ventajosos por la captura de este, los estudios realizados por estos autores, cuando compararon una finca con pastizales naturales y otra con un sistema agroforestal, mostraron que el carbono almacenado en el suelo por el sistema silvopastoril fue mayor que el secuestrado en el sistema de pasto natural, siendo de 24 y 19.5  $\text{tm C ha}^{-1}$ , respectivamente. De la misma manera Ibrahim *et al.*, (2005) mencionan que el potencial de los sistemas silvopastoriles (suelos y biomasa) para almacenar carbono puede variar entre 20 y 204  $\text{tm C ha}^{-1}$ , estando la mayoría de este carbono almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que pueden variar entre 1,8 y 5,2  $\text{tm C ha}^{-1}$ . Del mismo modo Ibrahim *et al.*, (2007) mostraron que las pasturas con pastos mejorados cuando se encuentran deterioradas, no suelen realizar aportes significativos al secuestro de carbono, incluso pueden emitir carbono a la atmósfera. Sin embargo, con respecto a las pasturas degradadas, las mejoradas con árboles generan usos de la tierra con mayor potencial para el secuestro de carbono.

El carbono orgánico en los 3 sistemas de manejo del suelo se encuentra almacenado en mayor cantidad en los primeros 20 cm (0-20cm), luego la cantidad almacenada disminuye a medida que la profundidad va aumentando.

Según De Petre *et al.*, (2006), plantearon que el carbono acumulado en los estratos superiores del suelo posee mayor cantidad y variabilidad porque está en función del cambio en el uso y manejo del suelo. Esto coincide con lo planteado por Robert (2002), quien asegura que el carbono del suelo varía con la profundidad, y está en correspondencia con el tipo de suelo y con el contenido y descomposición de la materia orgánica. Según Khan *et al.*, (2007), El contenido de carbono orgánico disminuyó ligeramente conforme incrementó la profundidad, este patrón de distribución de carbono orgánico constituye un fenómeno natural muy común en los bosques.

La bibliografía consultada guarda relación con los resultados obtenidos, por la razón que el carbono orgánico en los tres sistemas de manejo del suelo se encuentra almacenado en mayor cantidad en los primeros 20 cm (0-20cm), siendo menor el carbono a mayor profundidad porque en los horizontes más profundos hay poca descomposición de materia orgánica, además que las fincas en estudio fueron parcelas jóvenes y la mayoría de la biomasa descompuesta se encuentra en la superficie, además en algunos casos por el mal manejo del suelo se asume que se pierde el carbono orgánico como gas de efecto invernadero no logrando ser almacenado a lo largo del perfil del suelo.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Los sistemas forestales almacenan mayor cantidad de carbono orgánico, esta cantidad es de 316,21 tm C ha<sup>-1</sup>, en seguida los silvopastoriles con 240,25 tm C ha<sup>-1</sup> y por último con la cantidad menor de almacenamiento de carbono orgánico están los sistemas a campo abierto con 160,31 tm C ha<sup>-1</sup>.
- Los sistemas a campo abierto, sistemas forestales y sistemas silvopastoriles, sin duda, por el carbono orgánico que almacenan contribuyen a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> que es un gas de efecto invernadero muy significativo, sin embargo estas cantidades capturadas varían significativamente dependiendo de los sistemas. Es así que encontramos que los sistemas a campo abierto capturan un promedio de 587,80 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, los sistemas forestales 1159,44 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y los sistemas silvopastoriles 880,92 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.
- El mayor contenido de carbono orgánico almacenado en los sistemas en estudio se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad, almacenando en dicha profundidad el sistema a campo abierto 78,85 tm C ha<sup>-1</sup>, los sistemas forestales 184,11 tm C ha<sup>-1</sup> y sistemas silvopastoriles 126,12 tm C ha<sup>-1</sup>.
- Los sistemas forestales capturan mayor cantidad de CO<sub>2</sub> en comparación con el sistema a campo abierto y sistema silvopastoril, es así que los sistemas forestales capturan un promedio de 571,64 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> más que el sistema a campo abierto y 278,52 tm CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> más que el sistema silvopastoril.

## 5.2.Recomendaciones

- En la microcuenca de Pomacochas, por ser un área dedicada en su mayoría a la crianza de ganado bovino, se propone cambiar los sistemas a campo abierto por sistemas silvopastoriles de manera paulatina, para de esta manera el carbono orgánico almacenado en el perfil del suelo esté menos expuesto a procesos de oxidación y por tanto a pérdida como gas efecto invernadero.
- Se debe implementar en el departamento de Amazonas el mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos, para que todas aquellas personas que adopten la tecnología de los sistemas silvopastoriles, tengan un incentivo y así la mayoría sean motivadas y se logre la adopción de estos sistemas, lo cual será de mucha importancia por la razón que van a contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero por ser el suelo asociado a plantaciones un sumidero muy importante para almacenar el carbono orgánico.
- Se recomienda realizar estudios complementarios de carbono orgánico en biomasa para conocer la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico total de la microcuenca de Pomacochas.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, S. 1997. Ganadería de carne amiga del ambiente y los bosques: Una alternativa de producción sostenible. *Agronomía Costarricense*, p. 285-297.
- Aguilera, S. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.
- Alegre, J., Arevalo, L., Ricse, A. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. ICRAF/INIA. Perú.
- Alegre, J.; Lapeyre, T.; Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú.
- Batjes, N.H. and W.G. Sombroek, 1997: Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology*, p. 161-173.
- Bolin, B.; Sukumar, R. 2000. Global Perspective. In: *land Use, Land-Use change and Forestry*, R.T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, D. J. Dokken (eds.). Cambridge University Press. Cambridge. UK, p 23-51.
- Brown, S.; Lugo, A.E.; Iverson, L.R. 1992. Processes and lands for sequestering carbon in the tropical forest landscapes. In Wisniewski j. y Lugo A.E. (eds.), 1992. *Natural sinks of CO<sub>2</sub>. Water, air and soil pollution*, p.139-155.
- Cerri, C. C., B. Volkoff, and F. Andreaux. 1991. Nature and behavior of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. *Forest Ecology and Management* 38, p. 247-257.
- Ciesla, W.M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudio FAO Montes N° 126, p. 147.
- Cuéllar, N.; Rosa H.; Gonzales M. 1999. Los servicios ambientales del agro: El caso del café de sombra en el Salvador. *Prisma*. N°. 34, p. 1-16.

- De Petre, A., Karlin, U.O., Ali, S. & Reynero, N°. 2006. Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal. Área Captura de Carbono. Proyecto bosques nativos y áreas protegidas. Argentina Banco Mundial - N° 4085.
- Dupouey, J.L., Siguand, G., Bateau, V., Thimonier, A., Dhole, J.F., Nepveu, G., Bergé, L. Augusto, L., Belkacem, S., Nys, C. 1999. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. C.R. Acad.Agric., p. 293-310.
- FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Michael Robert. Institut national de recherche agronomique. Paris, Francia, p. 62.
- FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2001. Forest Resources Assessment 1990, Tropical Countries. FAO Forestry Paper 112. Roma.
- FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO<sub>2</sub>. Informes sobre recursos mundiales de suelos N°. 88. Roma, p.98.
- Fisher, M.J., Rao, I.M., Ayarza, M.A., Lascano, C.E., Sanz, J.I., Thomas R.J. and Vera, R.R. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. Nature (London) 371, p. 236-238.
- Fortin, M., Rochette, P., Pattey, E., 1996. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 60, p. 1541-1547.
- Gobierno Regional Amazonas. 2011-2021. Plan Estratégico Regional Agrario.
- Guevara, R. 2000. Priority themes in Tropical America for agricultural/forestry development: Importance of networking.

- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce., G., Vega, P., Casasola, F. y Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. N° 45, p. 27-36.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Mora J; Zamora, S; Gobbi, J; Llanderal, T; Harvey, A; Murgueitio, E; Casasola, F; Villanueva, C; Ramirez, E. 2005. Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on landscapes dominated by cattle production in Central America. In Henry A. Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference Series, "Integrated management of environment services in human-dominated tropical landscape". Costa Rica. Abstracts. Turrialba, CR, CATIE, p. 27 - 34.
- INEI. 2007. XI Censo nacional de población y VI de vivienda.
- Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana. 2010. Zonificación Económica Ecológica.
- Jackson, Marcelona. 1964. Análisis químico de suelos. Ed. OMEGA S.A. Barcelona.
- Kanninen, M. 2001. Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina. En conferencia electrónica en potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. LEAD-CATIE.
- Khan, M.N.I., Suwa, R. and Hagihara, A. 2007. Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *Kandelia obovata* Yong: Vertical distribution in the soil-vegetation systems. *Wetlands. Ecol.*, p. 141-153.
- Lapeyre, Z. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú, p. 35-44.

- Lopez, A.; Schlönvoigt, A., Ibrahim, M., Kleinn, C., Kanninen, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6, p. 51-53.
- López, M.; Koning, F.; Paredes, H.; Benítez, P. 2002. Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el noroccidente de Ecuador. Proyecto CO<sub>2</sub>-GTZ / University of Gottingen, Gottingen-Alemania. Consultado el 10 febrero del 2015.
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H. & Duquesne, P.2007. Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso. *Pastos y Forrajes* 30, p. 483.
- Mora, V. 2001. Fijación, Emisión y Balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE, p. 92.
- Nair, P. 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Netherlands, Klumer Academic, p. 499.
- Nepstad, D.C., Uhl, C., Serrao, E.A.S. 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*. 20, p. 248-255.
- Oades, J.M. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5, p. 35-70.
- Oliva, M.; Salas, R.; Servan, L. 2014. Determinación de la capacidad de uso mayor de suelos. INDES-CES. UNTRM.
- Pezo, D.; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles, una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. In: *Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales*. 1er. Foro Internacional. FIRA/Banco de Méjico. Veracruz. México, p. 35.

- Pezo, D.; Ibrahim, M.1999. Sistemas silvopastoriles.2da ed. -Turrialba, CR: CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, p. 276.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2011. Índice sobre desarrollo humano.
- Ramos, R. A. 2003. Fractioning of soil organic carbon in three types of land uses on cattle farms in San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. M.Sc.Thesis. CATIE, Turrialba, Costa Rica, p. 81.
- Robert, M. 1996. Le Sol: Interface Dans L'environnement, Ressource pour le Développement. Dunod/Masson, Paris, p. 240.
- Robert, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos no. 96. FAO. Roma, IT. p. 61.
- Somarriba, E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. Agroforestry systems 19, p. 233-240.
- Swift, R. S.2001. Sequestration of carbon by soil. Soil Sci., p. 166, 858-871.
- Veldkamp, E. 1993. Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica.

## VII. ANEXOS

**Tabla 01.** Resultados de análisis de carbono orgánico y densidad aparente.

| Nº | Sistemas                 | Calicatas            | Muestras                 | Método de Walkley & Black | DA g/cc |
|----|--------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|---------|
| 1  | SISTEMA CAMPO ABIERTO 01 | CALICATA 01          | SCA1-CAL 1- M1- 40-60 cm | 0,9                       | 1,54    |
| 2  |                          |                      | SCA1-CAL 1- M2- 20-40 cm | 1,1                       | 1,46    |
| 3  |                          |                      | SCA1-CAL 1- M3- 00-20 cm | 3,7                       | 0,98    |
| 4  |                          | CALICATA 02          | SCA1-CAL 2- M1- 40-60 cm | 1,1                       | 1,50    |
| 5  |                          |                      | SCA1-CAL 2- M2- 20-40 cm | 1,9                       | 1,42    |
| 6  |                          |                      | SCA1-CAL 2- M3- 00-20 cm | 4,5                       | 0,91    |
| 7  |                          | CALICATA 03          | SCA1-CAL 3- M1- 40-60 cm | 1,5                       | 1,18    |
| 8  |                          |                      | SCA1-CAL 3- M2- 20-40 cm | 2,4                       | 1,28    |
| 9  |                          |                      | SCA1-CAL 3- M3- 00-20 cm | 4,3                       | 0,95    |
| 10 | SISTEMA CAMPO ABIERTO 02 | CALICATA 01          | SCA2-CAL 1- M1- 40-60 cm | 1,5                       | 1,60    |
| 11 |                          |                      | SCA2-CAL 1- M2- 20-40 cm | 2,4                       | 1,12    |
| 12 |                          |                      | SCA2-CAL 1- M3- 00-20 cm | 3,8                       | 0,95    |
| 13 |                          | CALICATA 02          | SCA2-CAL 2- M1- 40-60 cm | 1,5                       | 1,51    |
| 14 |                          |                      | SCA2-CAL 2- M2- 20-40 cm | 1,9                       | 1,21    |
| 15 |                          |                      | SCA2-CAL 2- M3- 00-20 cm | 5,0                       | 0,92    |
| 16 |                          | CALICATA 03          | SCA2-CAL 3- M1- 40-60 cm | 2,4                       | 1,16    |
| 17 |                          |                      | SCA2-CAL 3- M2- 20-40 cm | 4,8                       | 1,08    |
| 18 |                          |                      | SCA2-CAL 3- M3- 00-20 cm | 5,4                       | 0,96    |
| 19 | SISTEMA FORESTAL 01      | CALICATA 01          | SF1-CAL1-M1-40-60 cm     | 3,6                       | 0,85    |
| 20 |                          |                      | SF1-CAL1-M2-20-40 cm     | 3,2                       | 0,91    |
| 21 |                          |                      | SF1-CAL1-M3-00-20 cm     | 8,2                       | 1,08    |
| 22 |                          | CALICATA 02          | SF1-CAL2-M1-40-60 cm     | 3,8                       | 0,67    |
| 23 |                          |                      | SF1-CAL2-M2-20-40 cm     | 5,6                       | 0,82    |
| 24 |                          |                      | SF1-CAL2-M3-00-20 cm     | 9,5                       | 1,03    |
| 25 |                          | CALICATA 03          | SF1-CAL3-M1-40-60 cm     | 4,0                       | 0,53    |
| 26 |                          |                      | SF1-CAL3-M2-20-40 cm     | 5,3                       | 0,86    |
| 27 |                          |                      | SF1-CAL3-M3-00-20 cm     | 8,8                       | 1,02    |
| 28 | CALICATA 01              | SF2-CAL1-M1-40-60 cm | 5,3                      | 0,41                      |         |
| 29 |                          | SF2-CAL1-M2-20-40 cm | 5,9                      | 0,45                      |         |

|    |                                 |                                 |                       |                       |      |      |
|----|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|------|------|
| 30 | <b>SISTEMA FORESTAL 02</b>      |                                 | SF2-CAL1-M3-00-20 cm  | 9,2                   | 0,49 |      |
| 31 |                                 | <b>CALICATA 02</b>              | SF2-CAL2-M1-40-60 cm  | 5,7                   | 0,40 |      |
| 32 |                                 |                                 | SF2-CAL2-M2-20-40 cm  | 5,9                   | 0,32 |      |
| 33 |                                 |                                 | SF2-CAL2-M3-00-20 cm  | 12,8                  | 0,87 |      |
| 34 |                                 | <b>CALICATA 03</b>              | SF2-CAL3-M1-40-60 cm  | 6,7                   | 0,28 |      |
| 35 |                                 |                                 | SF2-CAL3-M2-20-40 cm  | 7,1                   | 0,54 |      |
| 36 |                                 |                                 | SF2-CAL3-M3-00-20 cm  | 14,7                  | 0,63 |      |
| 37 | <b>SISTEMA SILVOPASTORIL 01</b> | <b>CALICATA 01</b>              | SSP1-CAL1-M1-40-60 cm | 1,7                   | 1,15 |      |
| 38 |                                 |                                 | SSP1-CAL1-M2-20-40 cm | 4,7                   | 1,05 |      |
| 39 |                                 |                                 | SSP1-CAL1-M3-00-20 cm | 6,3                   | 1,01 |      |
| 40 |                                 | <b>CALICATA 02</b>              | SSP1-CAL2-M1-40-60 cm | 1,3                   | 1,01 |      |
| 41 |                                 |                                 | SSP1-CAL2-M2-20-40 cm | 3,7                   | 1,08 |      |
| 42 |                                 |                                 | SSP1-CAL2-M3-00-20 cm | 5,8                   | 1,12 |      |
| 43 |                                 | <b>CALICATA 03</b>              | SSP1-CAL3-M1-40-60 cm | 1,3                   | 1,10 |      |
| 44 |                                 |                                 | SSP1-CAL3-M2-20-40 cm | 3,3                   | 1,09 |      |
| 45 |                                 |                                 | SSP1-CAL3-M3-00-20 cm | 5,6                   | 1,08 |      |
| 46 |                                 | <b>SISTEMA SILVOPASTORIL 02</b> | <b>CALICATA 01</b>    | SSP2-CAL1-M1-40-60 cm | 2,36 | 1,31 |
| 47 |                                 |                                 |                       | SSP2-CAL1-M2-20-40 cm | 3,90 | 1,24 |
| 48 |                                 |                                 |                       | SSP2-CAL1-M3-00-20 cm | 5,76 | 0,31 |
| 49 | <b>CALICATA 02</b>              |                                 | SSP2-CAL2-M1-40-60 cm | 2,31                  | 1,31 |      |
| 50 |                                 |                                 | SSP2-CAL2-M2-20-40 cm | 2,94                  | 1,14 |      |
| 51 |                                 |                                 | SSP2-CAL2-M3-00-20 cm | 5,92                  | 0,45 |      |
| 52 | <b>CALICATA 03</b>              |                                 | SSP2-CAL3-M1-40-60 cm | 3,15                  | 1,43 |      |
| 53 |                                 |                                 | SSP2-CAL3-M2-20-40 cm | 3,40                  | 1,31 |      |
| 54 |                                 |                                 | SSP2-CAL3-M3-00-20 cm | 5,45                  | 0,51 |      |

**Anexo 02. Resultados de análisis estadístico con software Statistix 8.0.**

| <b>Analysis of Variance Table for CARBONO</b> |        |          |         |       |        |
|---|--------|----------|---------|-------|--------|
| Source  | DF     | SS       | MS      | F     | P      |
| SISTEMA                                       | 2      | 178,213  | 89,1064 | 56,96 | 0,0000 |
| PROFUNDID                                     | 2      | 173,473  | 86,7364 | 55,45 | 0,0000 |
| SISTEMA*PROFUNDID                             | 4      | 18,089   | 4,5222  | 2,89  | 0,0326 |
| Error   | 45     | 70,396   | 1,5644  |       |        |
| Total   | 53     | 440,170  |         |       |        |
| Grand Mean                                    | 4,4713 | CV 27,97 |         |       |        |

Análisis de varianza de variable dependiente con variables independientes

| <b>Descriptive Statistics for SISTEMA = 1</b> |    |        |        |         |         |
|---|----|--------|--------|---------|---------|
| Variable                                      | N  | Mean   | SD     | Minimum | Maximum |
| CARBONO                                       | 18 | 2,6778 | 1,6351 | 0,0000  | 5,4000  |

Descripción estadística de la variable dependiente con el sistema 1

| <b>Descriptive Statistics for SISTEMA = 2</b> |    |        |        |         |         |
|---|----|--------|--------|---------|---------|
| Variable                                      | N  | Mean   | SD     | Minimum | Maximum |
| CARBONO                                       | 18 | 6,9611 | 3,1236 | 3,2000  | 14,700  |

Descripción estadística de la variable dependiente con el sistema 2

| <b>Descriptive Statistics for SISTEMA = 3</b> |    |        |        |         |         |
|---|----|--------|--------|---------|---------|
| Variable                                      | N  | Mean   | SD     | Minimum | Maximum |
| CARBONO                                       | 18 | 3,7750 | 1,7260 | 1,3000  | 6,3000  |

Descripción estadística de la variable dependiente con el sistema 3

| <b>Descriptive Statistics for PROFUNDID = 1</b> |    |        |        |         |         |
|---|----|--------|--------|---------|---------|
| Variable  | N  | Mean   | SD     | Minimum | Maximum |
| CARBONO   | 18 | 6,9294 | 3,0567 | 3,7000  | 14,700  |

Descripción estadística de la variable dependiente con la profundidad 1

| <b>Descriptive Statistics for PROFUNDID = 2</b> |    |        |        |         |         |
|---|----|--------|--------|---------|---------|
| Variable  | N  | Mean   | SD     | Minimum | Maximum |
| CARBONO   | 18 | 3,7778 | 1,7370 | 1,0000  | 7,1000  |

Descripción estadística de la variable dependiente con la profundidad 2

| <b>Descriptive Statistics for PROFUNDID = 3</b> |    |        |        |         |         |
|---|----|--------|--------|---------|---------|
| Variable  | N  | Mean   | SD     | Minimum | Maximum |
| CARBONO   | 18 | 2,7067 | 1,8242 | 0,0000  | 6,7000  |

Descripción estadística de la variable dependiente con la profundidad 3

### Prueba de Tukey

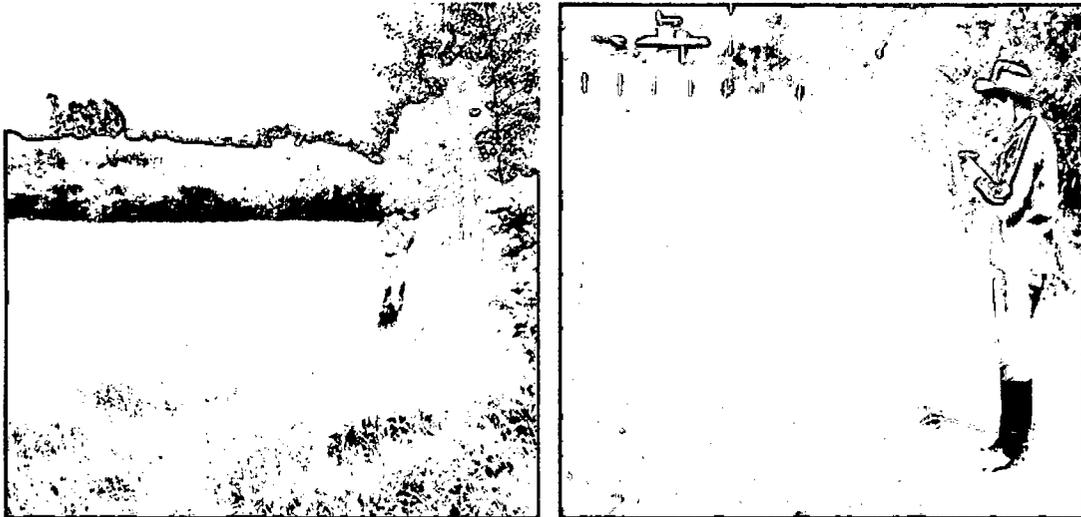
| <b>Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of CARBONO for SISTEMA</b> |        |                                      |  |
|---|--------|--------------------------------------|--|
| SISTEMA   | Mean   | Homogeneous Groups                   |  |
| 2   | 6,9611 | A                                    |  |
| 3   | 3,7750 | B                                    |  |
| 1   | 2,6778 | C                                    |  |
| Alpha   | 0.05   | Standard Error for Comparison 0,4169 |  |
| Critical Q Value  | 3,428  | Critical Value for Comparison 1,0107 |  |
| Error term used: Error, 45 DF   |        |                                      |  |
| All 3 means are significantly different from one another.             |        |                                      |  |

Comparación de la variable carbono con los tres sistemas

| <b>Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of CARBONO for PROFUNDID</b> |        |                                      |  |
|---|--------|--------------------------------------|--|
| PROFUNDID   | Mean   | Homogeneous Groups                   |  |
| 1   | 6,9294 | A                                    |  |
| 2   | 3,7778 | B                                    |  |
| 3   | 2,7067 | C                                    |  |
| Alpha   | 0.05   | Standard Error for Comparison 0,4169 |  |
| Critical Q Value  | 3,428  | Critical Value for Comparison 1,0107 |  |
| Error term used: Error, 45 DF   |        |                                      |  |
| All 3 means are significantly different from one another.               |        |                                      |  |

Comparación de la variable carbono con las tres profundidades

### Anexo 03. Imágenes de trabajo de campo



Georreferenciación de los sistemas



Sistema a campo abierto

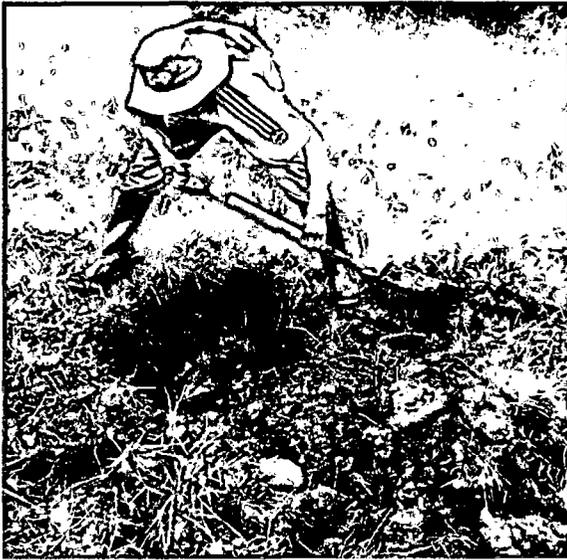


Sistema Forestal



Sistema Silvopastoral

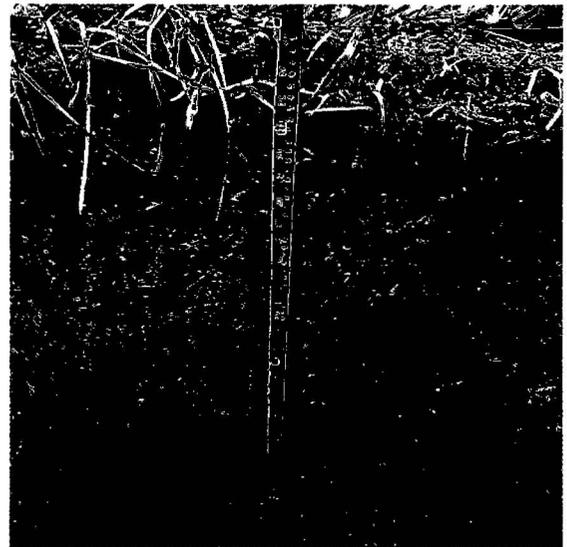
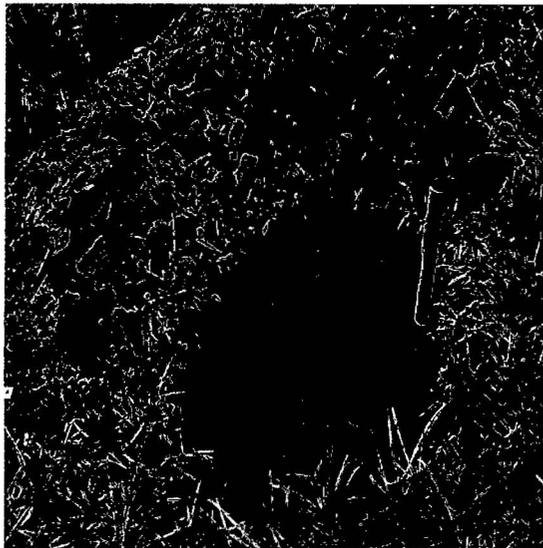
#### Anexo 04. Elaboración de calicatas y toma de muestras



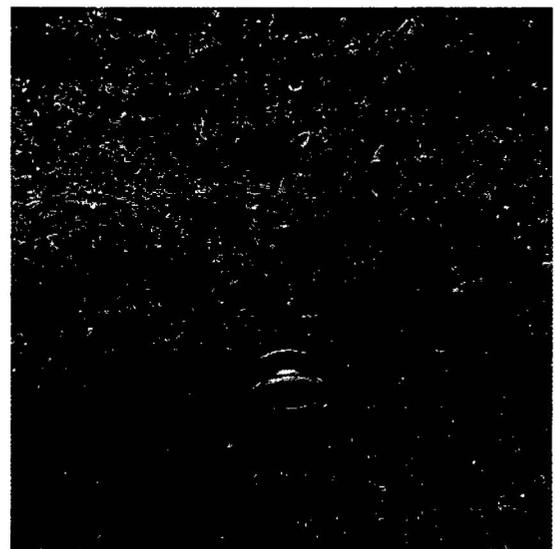
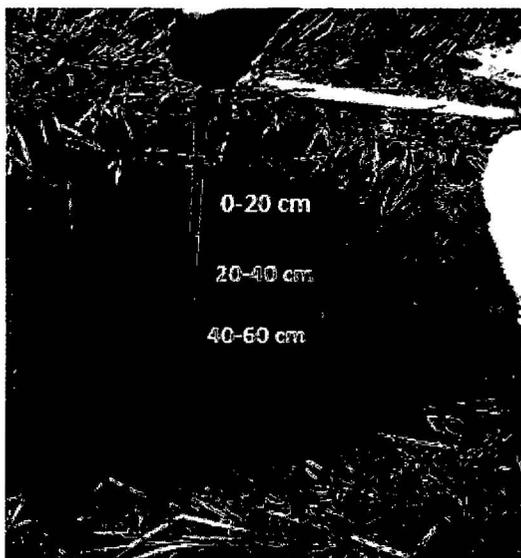
Construcción de calicatas en los sistemas



Caracterización de los sistemas



Construcción de calicatas en los sistemas



Medida de la profundidad y selección de las tres profundidades para la toma de muestras

Anexo 5. Toma de muestra para análisis de CO y densidad aparente



Recolección de muestras e identificación de las mismas



Recolección de muestras en los sistemas

## Anexo 05. Análisis de muestras en laboratorio



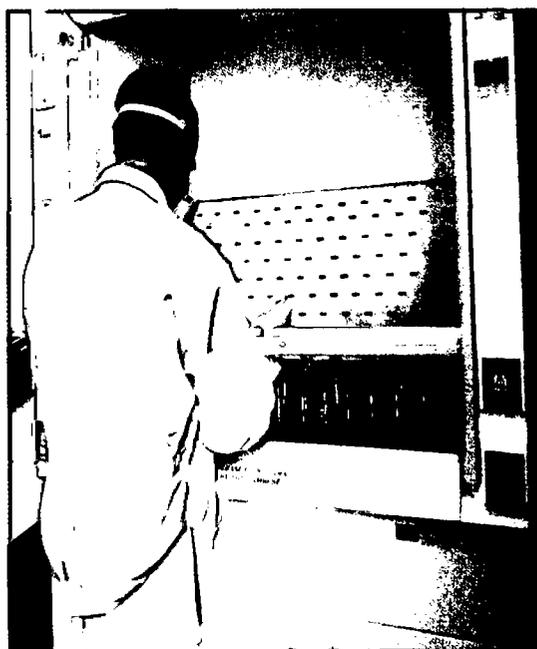
Preparación de muestras para ponerlas a secar para determinar el carbono orgánico



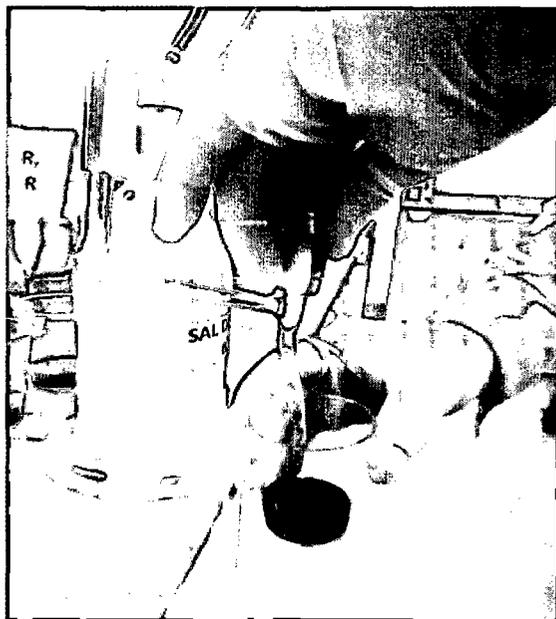
Preparación de muestras para determinar densidad aparente



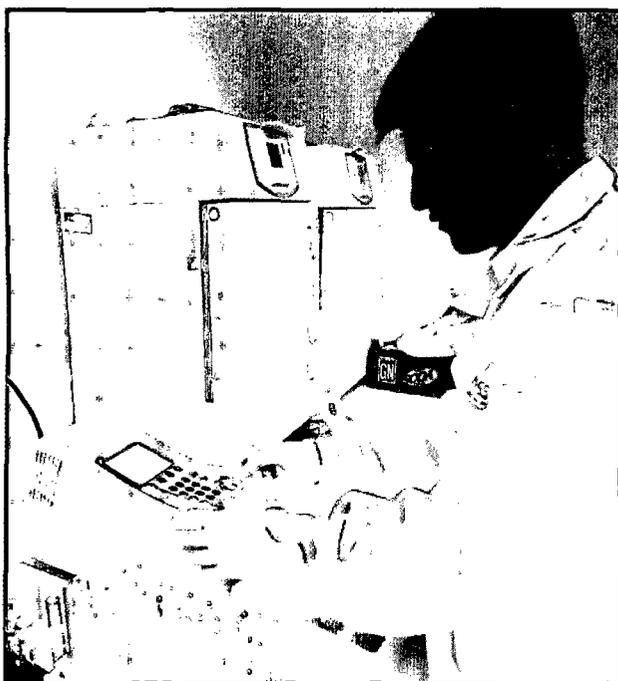
Colocación de muestras en estufas para el secado



Procesamiento de muestras para determinar CO



Determinación de carbono orgánico



Lectura de muestras en espectrofotómetro

## Anexo 6. Fichas de recolección de datos en campo

### a. Sistemas a campo abierto

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| <b>Parcela 1</b>  |                                   |
| <b>Productor:</b> Universidad nacional Toribio Rodríguez de Mendoza-Amazonas. |                                   |
| <b>Coordenadas:</b> E   | :171849                           |
| N   | :9355311                          |
| Altitud : 2221  |                                   |
| <b>Cantidad en m<sup>2</sup>:</b> 26 048,50.                                  |                                   |
| <b>Cantidad de ganados que pastorean en el área:</b> 15 a 20 ganados.         |                                   |
| <b>Razas de ganado más predominante:</b> Fleckvieh, Santa y Brown Swiss.      |                                   |
| <b>Manejo de pasturas:</b>  |                                   |
| <b>Especie</b>  | : Trébol, Rye grass y grama azul. |
| <b>Edad</b>   | : Año y medio.                    |
| <b>Fertilización</b>  | : No.                             |
| <b>Malezas</b>  | : Yerba mala.                     |
| <b>Tiempo de utilización :</b> 1 año  |                                   |
| <b>Rendimiento de materia</b>   |                                   |
| <b>seca</b>   | : 15 tm/ha/año.                   |
| <b>Pendiente</b>  | : Plano.                          |

**Parcela 2**

**Productor:** Universidad nacional Toribio Rodríguez de Mendoza-Amazonas.

**Coordenadas:** E : 171985

N : 9355475

Altitud : 2233

**Cantidad en m<sup>2</sup>:** 6 900.

**Cantidad de ganados que pastorean en el área:** 15 a 20 ganados.

**Razas de ganado más predominante:** Fleckvieh y santa.

**Manejo de pasturas:**

**Especie** : Trébol, Rye grass y grama azul.

**Edad** : Año y medio

**Fertilización** : No

**Malezas** : Yerba mala

**Tiempo de utilización** : 1 año

**Rendimiento de materia**

**seca** : 18,6 tm/ha/año

**Pendiente** : Plano

**Carga animal** : 2,6 Unidad animal/ha/año.

**b. Sistemas forestales**

|   |
|---|
| <b>Parcela 1</b>  |
| <b>Productor:</b> Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza   |
| <b>Coordenadas:</b> E : 171830  |
| N : 9355559   |
| Altitud : 2238  |
| <b>Cantidad en m<sup>2</sup>:</b> 9 679,5                             |
| <b>Cantidad de ganados que pastorean en el área:</b> 15 a 20 ganados. |
| <b>Razas de ganado más predominante:</b> Brown swiss                  |
| <b>Características de los plantaciones:</b>                           |
| <b>Especies:</b> Alisos   |
| <b>Edad:</b> 30 años  |
| <b>DAP promedio:</b> 29 cm  |
| <b>Altura promedio:</b> 25,67 m                                       |
| <b>Diámetro de copa promedio:</b> 4,36 m                              |

**Parcela 2****Productor:** Comunidad campesina de Pomacochas**Coordenadas:** E : 171852

N : 9354750

Altitud : 2226

**Cantidad en m<sup>2</sup>:** 12 401,31**Cantidad de ganados que pastorean en el área:** 15 a 20 ganados.**Razas de ganado más predominante:** Brown swiss**Características de los plantaciones:****Especies:** Alisos.**Edad:** 25 años.**DAP promedio:** 20 cm.**Altura promedio:** 24,86 m.**Diámetro de copa promedio:** 4,22 m.

**c. Sistemas Silvopastoriles**

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| <b>Parcela 1</b>  |                                   |
| <b>Productor:</b> Comunidad campesina de Pomacochas                   |                                   |
| <b>Coordenadas:</b>   | E : 171681.                       |
|   | N : 9355232.                      |
|   | Altitud: 2232.                    |
| <b>Cantidad en m<sup>2</sup>:</b> 10 548.                             |                                   |
| <b>Cantidad de ganados que pastorean en el área:</b> 15 a 20 ganados. |                                   |
| <b>Razas de ganado más predominante:</b> Brown swiss                  |                                   |
| <b>Manejo de pasturas:</b>  |                                   |
| <b>Especie</b>  | : Trébol, Rye grass y grama azul. |
| <b>Edad</b>   | : 5 años                          |
| <b>Fertilización</b>  | : No                              |
| <b>Malezas</b>  | : Yerba mala                      |
| <b>Tiempo de utilización :</b> 1 año                                  |                                   |
| <b>Rendimiento de materia</b>   |                                   |
| <b>seca:</b>  | : 21,6 tm/ha/año.                 |
| <b>Pendiente</b>  | : Plano.                          |
| <b>Carga animal</b>   | : 3,1unidad animal/ha/año         |
| <b>Características de los plantaciones:</b>                           |                                   |
| <b>Especies:</b>  | Alisos                            |
| <b>Edad:</b>  | 6 años                            |
| <b>DAP promedio:</b>  | 8,72 cm                           |
| <b>Altura promedio:</b>   | 10,36 m                           |
| <b>Diámetro de copa promedio:</b>                                     | 2,40 m                            |
| <b>Tipo de plantación:</b>  | Cuadrado                          |

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| <b>Parcela 2</b>  |                                   |
| <b>Productor:</b> Oscar Celis   |                                   |
| <b>Coordenadas:</b>   | E : 171739                        |
|   | N : 9355575                       |
|   | Altitud : 2243                    |
| <b>Cantidad en m<sup>2</sup>:</b> 7 806,39.                           |                                   |
| <b>Cantidad de ganados que pastorean en el área:</b> 15 a 20 ganados. |                                   |
| <b>Razas de ganado más predominante:</b> Brown swiss                  |                                   |
| <b>Manejo de pasturas:</b>  |                                   |
| <b>Especie</b>  | : Trébol, Rye grass y grama azul. |
| <b>Edad</b>   | : 10 años                         |
| <b>Fertilización</b>  | : No                              |
| <b>Malezas</b>  | : Yerba mala                      |
| <b>Tiempo de utilización</b>  | : 1 año                           |
| <b>Rendimiento de materia</b>   |                                   |
| <b>seca</b>   | : 21.7 tm /ha/año.                |
| <b>Pendiente</b>  | : Plano.                          |
| <b>Características de los plantaciones:</b>                           |                                   |
| <b>Especies:</b>  | Alisos                            |
| <b>Edad:</b>  | 12 años                           |
| <b>DAP promedio:</b>  | 25,5 cm                           |
| <b>Altura promedio:</b>   | 23,37 m                           |
| <b>Diámetro de copa promedio:</b>                                     | 2,92 m                            |
| <b>Tipo de plantación:</b>  | Distribución en potreros          |