



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).
Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO AGROSILVO PASTORIL
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA Y RESERVA DE CARBONO EN
SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN DOS
PISOS ALTITUDINALES”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRONOMO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
PAULO CÉSAR QUIÑE MACEDO**

TARAPOTO – PERÚ

2009

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO AGROSILVO PASTORIL
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

ÁREA DE SUELOS Y CULTIVOS



**“CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA Y RESERVA DE CARBONO EN
SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN
DOS PISOS ALTITUDINALES”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRONOMO

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

PAULO CÉSAR QUIÑE MACEDO

Ing. M. Sc. Jorge Sánchez Ríos
Presidente

Ing. Luis Alberto Lezaola Guerra
Miembro

Ing. M. Sc. Javier Ormeño Luna
Miembro

Ing. M. Sc. César Chappa Santa María
Asesor

CONTENIDO

Página

I.	INTRODUCCIÓN	01
II.	OBJETIVOS	03
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	04
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
V.	RESULTADOS	42
VI.	DISCUSIONES	62
VII.	CONCLUSIONES	67
VIII.	RECOMENDACIONES	70
IX.	RESUMEN	72
X.	SUMMARY	73
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	74
	ANEXOS	

DEDICATORIA

A mis padres Rosa Macedo Escalante y Jorge Juan Quiñe Romero y a mis hermanos Jorge Luís y Ronal Cristian por brindarme su apoyo incondicional, para el logro de mis metas.

A mis tíos y demás familiares en especial a Amalia Macedo Escalante y Sulma Macedo Escalante por el apoyo que me brindaron en el desarrollo de mi tesis.



AGRADECIMIENTO

- Al Ing. M. Sc. César Enrique Chappa Santamaría, asesor del presente trabajo de investigación.
- Al Instituto de Cultivos Tropicales y a su representante Ing. Enrique Arévalo Gardini como presidente del directorio, coordinador general; al Ing. Luís Zúñiga Cernades coordinador de proyectos y a la Srta. Lucinda Vela Vargas por brindarme las facilidades para realizar mi tesis en su prestigiosa institución. A los Ings. Ángel Luís Tuesta Pinedo, Fernando Puertas Ramos, Carlos Alvarado Valles y a todo el personal de apoyo de la familia Icetina quienes contribuyeron de una u otra manera durante la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A mi mejor amiga y enamorada Margarita Laura Barraza Sandoval, por brindarme su apoyo en todo momento, por contagiarme ese deseo de superación y el de ser cada día mejor en mi vida personal y profesional.
- Al Sr. Juan José Salas Salas, quien me permitió realizar parte del trabajo de investigación de la presente tesis.
- A mi amigo Roberto Leveau Tuanama por su valiosa contribución y apoyo desinteresado durante la ejecución de la presente tesis.

- A mis profesores y amigos de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, quienes me ayudaron de una u otra manera en mi formación profesional, a todos ellos “MUCHAS GRACIAS”.

I. INTRODUCCIÓN

La tumba y quema de los bosques tropicales, es la principal causa de la deforestación, que ocasionan pérdidas de carbono, como componente mayor del ciclo del carbono y que tiene profundas implicancias para la biodiversidad (ICT 2006).

Existe una creciente preocupación mundial por el cambio climático y su impacto en las actividades humanas y la productividad agrícola. Los factores que contribuyen a este problema mundial son, entre otros, los gases generados por la actividad industrial y agrícola; esta última, producto de la deforestación y quema de los bosques que presentan mayor contribución al incremento de “Gases Efecto Invernadero” (GEI). Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es capturando o fijando y manteniendo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo. En el primer caso se logra a través de la fotosíntesis y el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

A escala global, el cambio climático de uso de la tierra y las actividades forestales han sido, y son actualmente, fuentes netas de emisión de dióxido de carbono en la

atmósfera. Sin embargo, con un manejo adecuado, los humanos tenemos el potencial para cambiar la dirección de los flujos de carbono entre el suelo y la atmósfera, paralelamente se proveerían múltiples beneficios ambientales y socioeconómicos logrando así las metas del desarrollo sostenible. *“Un aspecto importante a tener en cuenta en los proyectos forestales con fines de comercio de créditos de carbono, es la medición y monitoreo de los niveles de beneficio de captura de estos gases de efecto invernadero”* (Citado por Larrea, 2007).

Los bosques naturales son los principales captadores de dióxido de carbono (CO₂), sin embargo existen otras alternativas de uso del suelo como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, incluyendo sistemas silvopastoriles (Arévalo, Alegre, Palma, 2003).

La degradación del suelo es considerado como la pérdida de su fertilidad actual y/o potencial, y es el resultado de los factores naturales y antropogénicos, produciendo impactos directos sobre la producción agrícola, calidad ambiental y biodiversidad. En la Amazonía peruana, una gran superficie de los suelos han sido seriamente degradadas debido al sobre aprovechamiento del suelo y la deforestación del bosque nativo. (Alegre et al. 2001)

El presente estudio pretende contribuir a la generación de información base para la elaboración de proyectos de comercialización de créditos de carbono, a través del aprovechamiento de sistemas agroforestales de café en la amazonía peruana, como sumideros de gases de efecto invernadero y como posible motor de desarrollo para los

productores cafetaleros. En nuestro país se esta considerando como una proyección alternativa de ingresos en zonas rurales y una forma de promover el desarrollo sostenible. En ese sentido, la evaluación y determinación de biomasa y reservas de carbono almacenado en sistemas agroforestales de café, es un indicador potencial de estos recursos.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Determinar la cantidad de biomasa y reservas de carbono en los sistemas agroforestales de café de dos pisos altitudinales en la Región San Martín.

2.2. Objetivos Especificos

- Determinar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa total de un sistema agroforestal con café en Pamashto a 890 m.s.n.m.m.
- Determinar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa total de un sistema agroforestal con café en La Banda del Shilcayo a 333 m.s.n.m.m.



III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El Carbono

En la naturaleza, el carbono se halla por doquier: en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono. Todos los organismos vivos son compuestos de carbono, que se obtienen como resultado de los procesos metabólicos durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (*Smith, 1993*).

Es un componente esencial de todos los seres vivos. Existe en su mayor parte como dióxido de carbono en la atmósfera, los océanos y los combustibles fósiles (carbón, petróleo y otros hidrocarburos). El dióxido de carbono en la atmósfera es absorbida por las plantas y convertidas en carbohidratos y tejidos a través del proceso de la fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono (*Lapeyre, 2004*).

3.2 Ciclo del Carbono

Es un ciclo biogeoquímico de gran importancia para la regulación del clima en la Tierra, en él se ven implicados actividades básicas para el sostenimiento de la vida.

Comprende dos ciclos que suceden en distintas velocidades:

- Ciclo biológico: comprende los intercambios de carbono (CO_2) entre los seres vivos y la atmósfera, es decir, la fotosíntesis, proceso mediante el cual el carbono queda retenido en las plantas y la respiración que lo devuelve a la atmósfera. Este ciclo es relativamente rápido, estimándose que la renovación del carbono atmosférico se produce cada 20 años.
- Ciclo biogeoquímico: regula la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litosfera (océanos y suelo). El CO_2 atmosférico se disuelve con facilidad en agua, formando ácido carbónico. el retorno del carbono a la atmósfera, se produce en las erupciones volcánicas tras la fusión de rocas que lo contienen; este último ciclo es de larga duración, el verse implicados los mecanismos geológicos. Además, hay ocasiones en las que la materia orgánica queda sepultada sin contacto con el oxígeno que la descompone, produciéndose así la fermentación que lo transforma en carbón, petróleo y/o gas natural.

La explotación de combustibles fósiles para sustentar las actividades industriales y de transporte junto con la deforestación es hoy en día, las principales agresiones

que sufre el planeta, con las consecuencias conocidas; cambio climático; generado por el efecto invernadero, la desertificación, etc.

Esta problemática ha sido tocada en el “Convenio sobre Cambio Climático”, aprobado en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y suscrito en la Cumbre de Río el 11 de junio de 1992. El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kyoto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Después de muchas discusiones para su ratificación el Protocolo de Kyoto entró en vigencia en febrero del año 2005. Este grafico puede verse representado en la Figura N° 01.

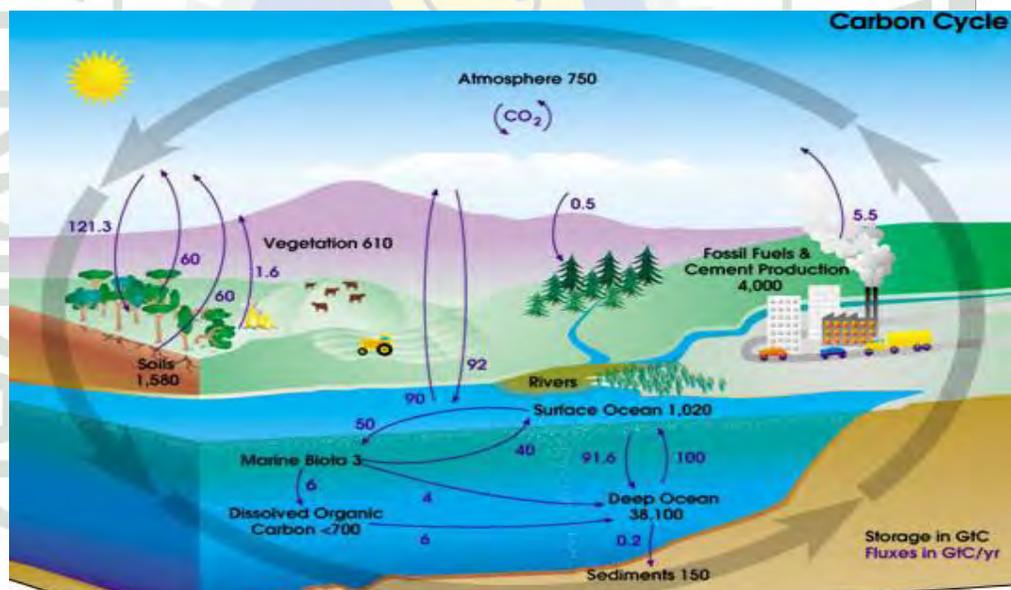


FIGURA N° 01: Ciclo del carbono. Smith (1993).

La reserva fundamental de carbono, en moléculas de CO₂ que los seres vivos puedan asimilar, en la atmósfera y la hidrosfera. Este gas está en la atmósfera en una concentración de más del 0,03% y cada año aproximadamente un 5% de estas

reservas de CO₂, se consumen en los procesos de fotosíntesis, es decir que todo el anhídrido carbónico se renueva en la atmósfera cada 20 años.

La vuelta de CO₂ a la atmósfera se hace cuando en la respiración los seres vivos oxidan los alimentos produciendo CO₂. En el conjunto de la biosfera la mayor parte de la respiración la hacen las raíces de las plantas y los organismos del suelo y no, como podría parecer, los animales más visibles.

El petróleo, carbón y la materia orgánica acumulados en el suelo son resultado de épocas en las que se ha devuelto menos CO₂ a la atmósfera del que se tomaba. Así apareció el O₂ en la atmósfera. Si hoy consumiéramos todos los combustibles fósiles almacenados, el O₂ desaparecería de la atmósfera (*Smith, 1993*).

IPCC¹, (2001), determinaron que, los principales componentes del ciclo del carbono son los océanos (38 000 Pg². C), la atmósfera (730 Pg. C) y el carbono almacenado en los ecosistemas terrestres (1500 Pg. C en suelos y 500 Pg. C en plantas y hojarasca) (*Citado por Muños, 2006*).

3.3 Captura del Carbono

La captura de Carbono mediante plantación de árboles, es sólo la pequeña parte de una solución temporal al problema del Calentamiento Global. Sería necesario cambiar nuestros patrones de consumo y conducta ante la vida para resolver este

¹ Panel Intergubernamental de Cambio Climático

² 1Pg = 10¹⁵ Kg.

problema. La captura de carbono se realiza únicamente durante el desarrollo de los árboles. Los árboles absorben dióxido de carbono (CO_2) atmosférico junto a otros elementos del suelos y aire para convertirlos en madera.

La cantidad de CO_2 que un árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual de la biomasa en el árbol multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Aproximadamente 42% a 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar su madurez.

Cuando el árbol muere, emite hacia la atmósfera la misma cantidad de carbono que capturó. En estado estable, un bosque en plena madurez aporta la misma cantidad de carbono que captura. Por tanto, no es importante cuanto carbono el árbol captura inmediatamente, sino cuanto carbono captura durante toda su vida.

Para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en cual el bosque alcanzará su madurez. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo al tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque.

Plantas, animales y humanos, son formas de vida basadas en el carbono que utilizan energía solar para obtener el carbono necesario para la química en las células. Las plantas absorben CO_2 a través de los poros en sus hojas; particularmente por la noche, los árboles emiten más CO_2 del que absorben a través de sus hojas. La planta concentra alrededor de 40% de carbono en los

tejidos vegetales, lo que demuestra la capacidad formidable de la fotosíntesis (Isminio, 2006).

3.4 Concentración de carbono en el suelo

La captura de carbono se refiere al almacenamiento de carbono en forma sólida y estable, esto puede suceder a través de la fijación directa e indirecta del CO₂ atmosférico. En el suelo, la fijación de carbono es directa, se presenta a partir de reacciones químicas que convierten el CO₂ en compuestos inorgánicos de carbono tales como carbonatos de calcio y magnesio.

Los suelos pueden secuestrar cerca de 20 Pg/ha de carbono en 25 años, más del 10% de las emisiones antropogénicas. Al mismo tiempo esto proporciona otros beneficios importantes para el suelo, y la calidad del medio ambiente para la prevención de la erosión, la desertificación y para el fortalecimiento de la biodiversidad.

También menciona que los suelos son un excelente medio de reciclaje debido a su habilidad para absorber, intercambiar y oxidar casi cualquier tipo de materia. Debido a su actividad catalítica, permiten una rápida reincorporación de los materiales a sus ciclos naturales; al retener compuestos y elementos químicos

establecen un balance entre residuos y la disponibilidad de materia, en particular la orgánica para la planta (FAO³, 2002).

La formación de complejos establecidos entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido de arcillas en el suelo. Los suelos arenosos carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica y es posible lograr la absorción y estabilización del carbono en ellos, pero los suelos en su mayoría arcillosos tienen una capacidad determinante en la absorción del carbono (*Larrea*, 2007).

3.5 Cambio Climático

La conversión Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) definió que: “Por 'Cambio Climático' se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera a la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

En la XII Conferencia Mundial de Cambio Climático realizada en Nairobi, Kenya el 7 de Noviembre del 2006 se manifestó que el efecto invernadero actualmente es uno de los principales factores que provocan el calentamiento global de la Tierra y por ende influye decisivamente en el cambio climático actual, convirtiéndose en una de las más graves amenazas para la humanidad.

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta. Este proceso se genera cuando parte de la radiación que

³ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

llega a la atmósfera choca y es absorbida por las moléculas de CO₂, H₂O, O₃, CH₄ Y CFC's causando que estas en su vibración emitan energía en forma de rayos invisibles e infrarrojos manteniendo así la temperatura atmosférica.

Las alteraciones en el clima han ocurrido en el pasado por causas naturales de diversos tipos, sin embargo, en los últimos ciento cincuenta años a partir de la revolución industrial, el efecto que han tenido las actividades humanas en el clima comenzó a ser relevante en su variación (UNFCCC, 2006).

El Perú emite el 0,4% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) globales en comparación con Estados Unidos que produce el 25% de los GEI y Europa del Este con el 27% (Alonso, 2007).

El fenómeno del cambio climático se ha denominado a las variaciones en el patrón del clima por la intervención humana. Esta alteración ha modificado el balance de la atmósfera en su capacidad de permitir la radiación mediante el ingreso de los rayos solares y la irradiación con la que se expulsa el calor solar al espacio.

Se ha identificado que la alteración del balance para la radiación y la irradiación atmosférica procede de las modificaciones de los gases denominados gases de efecto invernadero, los cuales intervienen en esos procesos de atrapar y expulsar el calor solar. Los gases de efecto invernadero son principalmente el dióxido de

carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los clorofluorocarbonos (CFC's), el ozono (O₃) y el vapor de agua (*Villalobos, 2005*).

3.6 Agroforestería

Son sistemas de usos y prácticas agrícolas combinadas con árboles y arbustos en la misma unidad de suelo, en forma de disposición espacial o en secuencia temporal, con interacciones ecológicas entre sus distintos componentes (*Torres, 2007*).

Los sistemas agroforestales son formas de usos de la tierra, en los cuales los árboles o arbustos son utilizados en forma intercalada o asociada con cultivos agrícolas en el mismo terreno de manera simultánea o en una secuencia temporal (*López, 1994*).

3.7 Biomasa

Las plantas usan el sol para crecer. La materia orgánica de la planta se llama biomasa y almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La biomasa es parte del ciclo natural del carbono entre la tierra y el aire.

En el concepto de biomasa no se debe incluir la turba (Combustible fósil formado de residuos vegetales acumulados en sitios pantanosos, de color pardo oscuro, aspecto terroso y poco peso, y que al arder produce humo denso), que a efectos de emisiones de CO₂ equivale a un combustible fósil; además, dados los impactos ambientales derivados de la explotación de turberas, no se podría considerar energía renovable la obtenida de esta fuente de energía (López, 1994).

3.8 Los bosques, sistemas forestales y las reservas de carbono

Los bosques naturales son principalmente secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, incluyendo sistemas agrosilvopastoriles; que pueden secuestrar en promedio de noventa y cinco toneladas de carbono por hectárea en quince años, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 hectáreas manejadas con sistemas tradicionales.

La cantidad de carbono almacenado se relaciona con la capacidad del bosque de mantener cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad, condiciones de clima y suelo. Se asume que el 45% de la biomasa seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono almacenado que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la

biomasa seca puede variar de 150 y 382 t/ha, por lo tanto el carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 t/ha (Alegre et al. 2001),

Según el ICRAF⁴ *“La Agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y de tierra que procura aumentar los rendimientos de forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo compatibles con las prácticas culturales de la población local”* (Larrea, 2007).

En el gráfico N° 01 se muestra las reservas de carbono total en la biomasa y en el suelo en diferentes sistemas de uso de tierras en Yurimaguas y en Pucallpa. Mientras los niveles de C en el suelo permanecen relativamente estables cuando la tierra es convertida de foresta para otros usos, las reservas de C en la biomasa aérea es considerablemente reducida.



⁴ Internacional Council for Research in Agroforestry

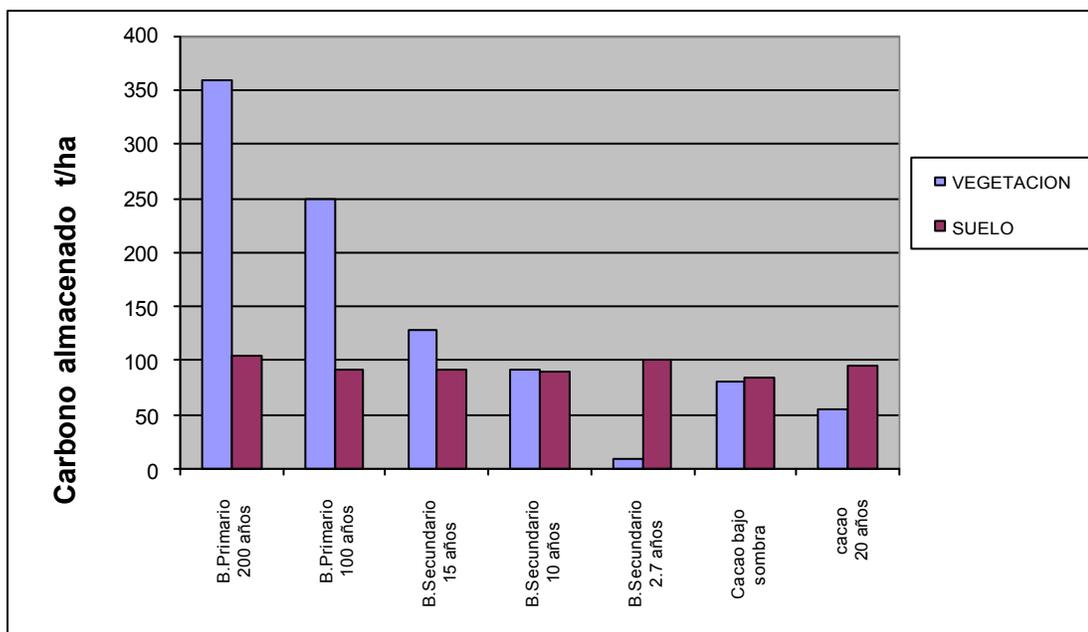


GRÁFICO N° 01: Reserva de C con diferentes sistemas de usos de la tierra en Yurimaguas y Pucallpa. Alegre *et al.* (2001).

La foresta y los barbechos antiguos tuvieron los contenidos más altos de C en ambos sitios. El barbecho natural comparado con los barbechos de ciclos cortos aumentó ligeramente el contenido de C con el tiempo. El nivel de C de la biomasa en todos los sistemas manejados es más bajo que el de los bosques naturales. Sin embargo, entre los sistemas manejados el contenido de C en los sistemas perennes con árboles fue más alto y fluctuó desde 63 t/ha para la plantación de amburara, hasta 99t/ha para la plantación de Maruja. Los huertos familiares tuvieron 85 t/ha vs. 53 t/ha plantaciones de cacao (Pucallpa).

En sistemas agroforestales de Yurimaguas estos valores fueron bajos para barbechos cortos y aumentan ligeramente cuando combinan con especies arbóreas de rápido crecimiento (*Inga* sp) con coberturas (*centrosema macrocarpum*), que almacenaron 33 t/ha en 3 años y solo 9 t/ha con un bosque secundario natural de la misma edad (*Alegre et al. 2001*).

Los sistemas con cobertura permanente de centrosema (*C. macrocarpum*) abastecen permanentemente de hojarasca y con ello una rápida disponibilidad de nutrientes y una fuerte defensa contra la erosión, sin embargo como biomasa total, comparados con árboles son mucho menores pues no pasan de 6 t/ha. Los pastos tuvieron cantidades muy bajas de C.

Finalmente las reservas de C en los sistemas de uso de tierras en Yurimaguas con barbechos cortos fueron mayores que en Pucallpa debido a que en Yurimaguas la intensificación de uso de tierras es menor y el grado de degradación de los suelos es menor que en Pucallpa (*Alegre et al. 2001*).



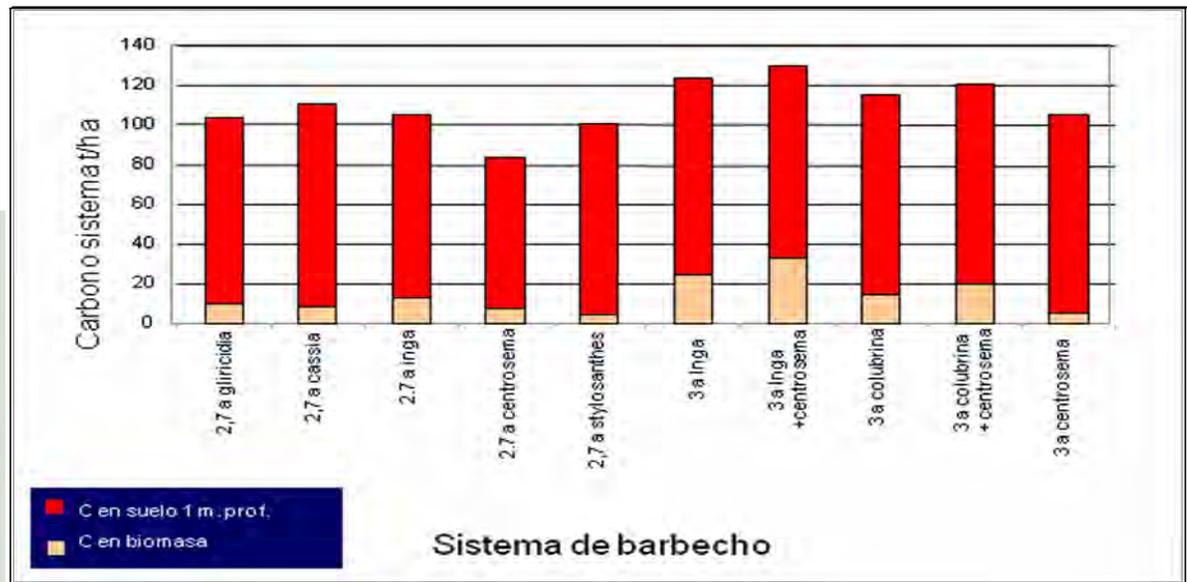


GRÁFICO N° 02: Reservas de C en los sistemas de barbechos de ciclo corto en Yurimaguas y Pucallpa. Alegre et al. (2001).

Estos resultados, resaltan los cultivos de árboles perennes, basados en sistemas de multiestratos como cacao, huertos semilleros o plantaciones a campo abierto; alcanzan del 17 al 27% del C secuestrado del bosque primario de 200 años, comparado con solo 1% con los sistemas de coberturas o pastos. Los cultivos perennes y los sistemas multiestratos como cacao o huertos son más económicos y atractivos para los agricultores que los cultivos anuales. Los flujos de C variaron entre 1 hasta 11 t/ha siendo las plantaciones perennes, así como los barbechos cortos con Inga, los que presentaron mayores flujos (Alegre et al. 2001).

Lapeyre (2004), determinó reservas de carbono en sistemas de bosque primario, secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas típicos de la zona: Maíz (*Zea maíz*), Arroz (*Oriza sativa*) y pastos (*Brachiaria sp.*) y en sistemas agroforestales tales como Café (*Coffea arabica* L.) bajo sombra y Cacao (*Theobroma cacao* L.).

En cada uno de estos sistemas se establecieron al azar cinco transectos donde se evaluó la biomasa arbórea; dentro de estos transectos se establecieron cuadrantes también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. El carbono total en bosque primario fue de 485 t/ha, habiéndose reducido las reservas en más de 50% con el bosque secundario de 50 años (234 t/ha). El bosque descremado de 20 años perdió más del 80% de reservas (62 t/ha). Se observó que los sistemas boscosos alterados, difícilmente recuperan sus reservas de carbono y menos aún si son frecuentemente perturbados, citado por *Larrea, 2007*.

Isminio (2006), estimó la cantidad de carbono retenido en la biomasa de la hojarasca, biomasa arbustiva, biomasa arbórea y en los 5 cm. superficiales del suelo, en un sistema agroforestal de café bajo sombra de *Inga edulis* y determinó la proporción relativa entre sus componentes, en el distrito de Rumizapa, provincia de Lamas, departamento de San Martín. Utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 5 tratamientos y 5 repeticiones. Los resultados reportan que, la mayor cantidad de carbono capturado en comparación a los demás parámetros evaluados, fue la biomasa arbórea del bosque primario, con 79 008.40 kg. C/ha, seguido del suelo (bosque primario), hojarasca (café de 6 años), y biomasa herbácea (café de 5 años), con 37500, 7900.46 Y 2408.12 kg. C/ha respectivamente. *Isminio* afirma que, la mayor acumulación de carbono en cafetos mayores de 5 años, puede deberse al grosor de los tallos y las ramas, en estas partes se acumulan la mayor cantidad de carbono.

Larrea (2007), concluye, que los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales, presentaron una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea, a su vez, estas combinaciones favorecen de manera constante la presencia de abundante hojarasca, funcionando como principal agente de conservación del suelo y excelente controlador de maleza. Los flujos de la fijación de carbono para cada uno de los sistemas fluctuaron desde 0.99 a 8.02 t. C/ha/año. El sistema más rentable para la comercialización de créditos de carbono, es el cacao de 8 años con sombra de capirona, bolaina y caoba, con un ingreso anual aproximado de US\$ 150.33 t. CO₂/ha/año.

Muños (2006), afirma que, el contenido de carbono en el suelo, disminuye con la profundidad, donde el decrecimiento es en forma exponencial, lo cual concuerda con *Bernoux et al., (1998)* quien indica que en sistemas agrícolas es común encontrar disminuciones exponenciales de C. Además determinó que un 65 – 70% del total del total de carbono se encuentra en los primeros 10 cm. del suelo.

Schimel (1998) y *Oren (2001)*, afirmaron que, las formaciones de complejos establecidos entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido de arcilla en el suelo. Los suelos arenosos carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica y es posible lograr la absorción y estabilización del carbono

en ellos, pero los suelos en su mayoría arcillosos tienen una capacidad determinante en la absorción del carbono (*Larrea, 2007*).

3.10 Marco Legal

3.10.1 Protocolo de Kyoto

El protocolo de Kyoto fue firmado en 1997, tiene como objetivo que los países desarrollados se reduzcan en promedio 5.2% de las emisiones de GEI con respecto a las emitidas en el año 1990, el primer periodo de compromiso esta fijado entre los años 2008 y 2012. Dentro de las herramientas propuestas en el protocolo de Kyoto se encuentra el MDL, este les permite a los países desarrollados invertir en proyectos en países en vías de desarrollo, que mitiguen o capturen gases invernaderos, esto se logrará a través de la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER's). Se estableció que el compromiso sería de obligatorio cumplimiento cuando lo ratificasen los países industrializados responsables del al menos un 55% de las emisiones de CO₂. El protocolo entraría recién en vigor con la ratificación de Rusia en noviembre del 2004, después de conseguir que la Unión Europea (EU), pague la reconversión industrial, así como la modernización de las instalaciones, en especial las petroleras. Además del cumplimiento que estos países deben conseguir con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, se promovió también la generación de un desarrollo sostenible, de tal forma que se utilice también energías no convencionales y así disminuya el calentamiento global.

El gobierno de Estados Unidos firmó el acuerdo más no fue ratificado, por lo que su adhesión sólo fue simbólica hasta el 2001 en el cual el gobierno de Bush se retiró del protocolo ineficiente e injusta al involucrar sólo a países industrializados, y excluir, de esta manera, a algunos de los mayores emisores de gases en vía de desarrollo (China e India particularmente) con lo cual se considera que perjudicaría gravemente la economía estadounidense (ONU⁵, 1998).

3.10.2 Ley N° 27308, Ley forestal y de la fauna silvestre, DS 014-2001-AG.

Según la legislación del Perú se reconoce los servicios ambientales del bosque, la implementación de esquemas de indemnización, los medios de asignación de recursos y la promoción de la gestión de estos servicios.

Con respecto a dichos servicios la ley N° 27308 en su Art. 2.3 define y se anuncia los servicios ambientales del bosque:

- Absorción de dióxido de carbono.
- Regulación del agua.
- Conservación de la diversidad biológica.
- Protección del suelo.
- Belleza escénica.

⁵ Organización de las Naciones Unidas

En el Art. 35.4 se determina el concepto de indemnización por estos servicios, los medios de asignación de recursos y la promoción de la gestión de estos servicios. En el Art. 282 del reglamento se determina que el Ministerio de Agricultura es el encargado de establecer los mecanismos para el mantenimiento de estos servicios.

Así mismo, el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) es una institución de derecho privado, sin fines de lucro y de interés público y social, creada por el Congreso de la República del Perú, mediante Ley N° 26793 del año 1997, destinada a promover la inversión pública y privada en el desarrollo de planes, programas, proyectos y actividades orientadas al mejoramiento de la calidad ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales, y el fortalecimiento de las capacidades para una adecuada gestión ambiental.

El FONAM es reconocido por el PCF (Fondo Prototipo de Carbono del Banco Mundial) como el punto focal de sus actividades en el Perú, en lo referente a la identificación, calificación y manejo de proyectos que puedan ser presentados ante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para la obtención de Certificados de Reducción de Emisiones de Gases de efecto invernadero (CER's). Por este motivo se crean estructuras de mercado intermediarias de proyectos sobre remas de servicios ambientales.

3.11 Creación del mercado del carbono

En el protocolo de Kyoto también se establecieron los mecanismos que facilitarían el cumplimiento de las reducciones de emisiones de GEI en los países industrializados de un modo costo-efectivo. Estos mecanismos son: 1) Comercio de Emisiones (CE), 2) Implementación Conjunta (IC) Y 3) Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). (Larrea, 2007)



4.1. Generalidades del lugar

4.1.1. Ubicación

El ensayo se ejecutó en dos localidades (La Banda de Shilcayo y Pamashto), en seis transectos. Los transectos 1, 2, 3 se llevaron a cabo en la Estación Experimental del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) en el Fundo “Juan Bernito”, ubicado a 2.5 Km. de Tarapoto, en el Distrito de la Banda de Shilcayo, Sector Laguna Venecia.

Ubicación geográfica

Latitud sur	:	06° 30' 28”
Longitud oeste	:	76° 00' 18”
Altitud	:	333 m.s.n.m.m

Ubicación política

Distrito	:	Banda de Shilcayo
Provincia	:	San Martín
Departamento	:	San Martín

Los Transectos 4, 5, 6 se realizarán en el Fundo “Sananguillo”, Sector Sananguillo, Centro Poblado de Pamashto. Ambas plantaciones de café con una edad aproximada entre 7 – 8 años.

Ubicación geográfica

Latitud sur	:	06° 21' 71”
Longitud oeste	:	76° 32' 78”

Altitud : 890 m.s.n.m.m

Ubicación política

Distrito : Lamas

Provincia : Lamas

Departamento : San Martín

4.2. Materiales

4.2.1. os

- GPS
- Hipsómetro
- Balanzas de 5 y 50 kg.
- Estufa

4.1.2. Herramientas

- Soga nylon
- Wincha de 3m y 50m
- Tijera de podar
- Serrucho de podar
- Rastrillo
- Rafia
- Marcos de madera: de 1m x 1m y 0.5m x 0.5m
- Plumón indeleble
- Costales de Polipropileno y polietileno

- Machete
- Cilindros de 3 cm de altura y 5 cm de diámetro
- Sobre manilla
- Pala recta

4.3. Metodología

Se evaluaron en total seis transectos distribuidas al azar, se determinó la cantidad de carbono secuestrado en cada uno de estos transectos y se realizaron las medidas de los diferentes componentes de biomasa. La metodología de evaluación que se utilizó fue desarrollada por el ICRAF siguiendo los procedimientos del Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra (Arévalo *et al.*, 2003).

Selección de Parcelas Demostrativas



Foto N°01: Fundo Juan Bernito



Foto N°02: Fundo Sananguillo

Trazado de transectos de 4m x 25m e inventario forestal



Foto N°03: Ubicación de Transectos



Foto N°04: Inventario forestal

4.3.1. asa arbórea viva

Es toda la biomasa (tronco, ramas, hojas) de los árboles con diámetros mayores de 2,5 cm. Para estimar el carbono secuestrado en la biomasa arbórea viva, se trazaron transectos de 4m x 25m donde se realizó el inventario forestal, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles con 2,5 hasta 30 cm. de DAP. Si dentro de éstos transectos se hubiesen presentado árboles con DAP mayores de 30 cm, hubiese sido necesario trazar un nuevo transecto de 5m x100m, que se superpone sobre el transecto de 4m x 25m; en árboles que ramifican debajo del DAP se estimó su biomasa después de calcular el diámetro general del árbol, se utilizó la fórmula raíz cuadrada de la suma de los diámetros de las ramas individuales.

Para los árboles inmersos en los transectos se anotó los nombres locales, además se registró si era ramificado (R) o no (NR), el índice de densidad de la madera de la especie (alta: 0,8; media: 0,6; baja: 0,4) y si es palmera (P) o liana (L).



4.3.2. asa arbustiva (Bab) y herbácea (Bhb)

La biomasa arbustiva y herbácea, está compuesta por la biomasa sobre el suelo (epigea) de arbustos menores de 2,5 cm de diámetro, gramíneos y otras hierbas. La biomasa se estimó por muestreo directo en dos cuadrantes de 1m x 1m, distribuidas al azar dentro de los transectos de 4m x 25m se cortó toda la vegetación del suelo y se registró el peso fresco total por metro cuadrado; de ésta, se colectó una sub-muestra, registrando el peso fresco y luego se colocó en una bolsa de papel correctamente identificadas y se secó en estufas de aire caliente a 75°C hasta que se obtuvo peso seco constante (48 horas).El peso seco de estas biomasa se elevó a t/ha y éste valor se multiplicó por el factor de 0,45; obteniéndose así la cantidad de carbono en esta biomasa.

Biomasa Arbustiva – Herbácea



Foto N°06: Colección de muestras

Arbustiva



Foto N°07: Colección de muestras

Herbácea



Foto N°08: Colección de muestras

Arbustiva



Foto N°09: Colección de muestras

Herbácea

4.3.3. asa de la hojarasca (Bh)

Se cuantificó en base a la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas) en cuadrantes de 0.5m x 0.5m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1m x 1 m. Se colocó toda la hojarasca, se registró el peso fresco total por 0.25m², de ésta se sacó una sub - muestra y se registró su peso, se colocó en bolsas de papel debidamente codificados y se secó en estufa a 75°C hasta obtener peso seco constante (48 horas). Este peso seco se llevó a t/ha y se multiplicó por el factor de 0.45 para obtener la cantidad de C/ha en la hojarasca.



Foto N°10: Colección de muestras

Hojarasca



Foto N°11: Peso de muestras

en fresco y seco

4.3.4. asa de árboles caídos muertos.

Al igual que el caso anterior, se midieron los árboles caídos muertos en los transectos de 4m x 25m, se registró el diámetro promedio, proveniente de dos medidas en el tronco caído y la longitud del árbol dentro de la misma. Si el árbol hubiese atravesado el transecto, sólo se registraba la longitud de la parte comprendida dentro de ella.

Biomasa de Árboles Caídos Muertos.

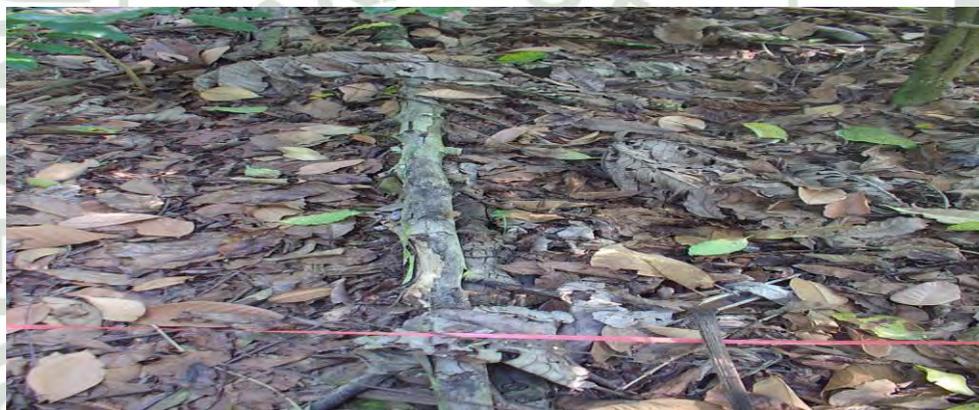


Foto N°12: Arboles caídos muertos



Foto N°13: Medición del Tronco



Foto N°14: Diámetro del Tronco

4.3.5. Muestreo de suelos y medición de densidad aparente.

En los cuadrantes señalados para el muestreo de biomasa herbácea, se hicieron calicatas o huecos de 1m de profundidad. De manera general, se definió horizontes o capas entre: 0 – 0,1m; 0,1 – 0,2m; 0,2 – 0,4m y 0,4 – 1,0m. En cada uno de estos horizontes, se utilizó cilindros de volumen conocido, se estimó la densidad aparente del suelo, que es el peso seco de un volumen determinado de suelo expresado en gramos por centímetro cúbico (g/cc).

Por cada horizonte se tomó una muestra de 500 gr en promedio, correctamente identificadas y enviadas al laboratorio para la cuantificación de carbono total, también se realizó los análisis complementarios de textura, Materia Orgánica, pH, entre otros; lo cual permitirá hacer las correcciones respectivas para cada caso.

Muestreo de suelos y medición de densidad aparente.



Foto N°15: Apertura de calicatas



Foto N°16: Calicata concluida



Foto N°17: Densidad Aparente



Foto N°18: Muestreo de suelos



Foto N°19: Muestras de Suelo en la estufa a 105 C°/3 días



Foto N°20: Peso Seco de las muestras de suelo



Foto N°21: Muestras de suelos



Foto N°22: Determinación de Carbono Orgánico

4.4. Cálculos

4.4.1. Calculo de la Biomasa Vegetal Total (t/ha)

$$\text{BVT (t/ha)} = (\text{BAVT} + \text{BTAMP} + \text{BTACM} + \text{BAH} + \text{Bh})$$

Donde:

BVT = Biomasa vegetal total

BAVT = Biomasa total árboles vivos

BTAMP = Biomasa total árboles muertos en pie

BTACM = Biomasa total árboles caídos

BAH = Biomasa arbustiva y herbácea

Bh = Biomasa de la hojarasca

Comprende a su vez los siguientes cálculos:

1. Biomasa arbórea viva (kg/árbol)

Para efectos de utilizar esta metodología, se calculó la biomasa de cada uno de los árboles vivos y árboles muertos en pie, utilizando el siguiente modelo:

$$\text{BA} = 0,1184 \text{ DAP}^{2,53}$$

Donde,

BA = Biomasa de árboles vivos y árboles muertos en pie

0,1184 = Constante

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (cm)

2,53 = Constante exponencial

1.1. Biomasa arbórea viva (t/ha)

Para calcular la cantidad de biomasa por hectárea, se sumó la biomasa de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en los transectos de 4m x 25m, es decir:

$$\text{BAVT (t/ha)} = \text{BTAV} * 0,1$$

Donde,

BAVT = Biomasa árboles vivos en t/ha

BTAV = Biomasa total en los transectos de 4m X 25m

0,1 = factor de conversión cuando el transecto es de 4m x 25m

2. Biomasa de árboles muertos en pie (kg/árbol)

Para estimar la biomasa se utilizó la misma fórmula que para estimar la biomasa de los árboles vivos, es decir:

$$\text{BAMP} = 0,1184 \text{ DAP}^{2,53}$$

Donde,

BAMP = Biomasa de árboles muertos en pie

0,1184 = Constante

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (cm)

2,53 = Constante exponencial

2.1. Biomasa de árboles muertos en pie (t/ha)

Para calcular la biomasa de este componente en t/ha, se sumó la biomasa de todos los árboles muertos en pie evaluados (BAMP) en los transectos de 4m X 25m:

$$\text{BTAMP (t/ha)} = \text{BAMPP} * 0,1$$

Donde,

BTAMP = Biomasa total de árboles muertos en pie en t/ha.

BAMPP = Biomasa de árboles muertos en pie dentro de transectos.

0,1 = factor de conversión cuando el transecto es de 4m x 25m

3. Para árboles caídos muertos

Para estimar esta biomasa se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{BAMC (kg/árbol)} = 0,4 \text{ DP}^2 \text{ L } 0,25 \pi$$

Donde,

BAMC = Biomasa de árboles muertos caídos

0,4 = Densidad (valor asumido por conversión)

DP = Diámetro promedio

L = Longitud

0,25 = Constante

π = pi, constante (3,1416)

3.1. Biomasa árboles caídos muertos (t/ha)

Para realizar los cálculos en base a t/ha se necesitó sumar la biomasa de todos los árboles caídos muertos (BACMP) evaluados en transectos de 4m X 25m:

$$\text{BTACM (t/ha)} = \text{BACMP} * 0,1$$

Donde,

BTACM = Biomasa total de árboles caídos muertos en t/ha.

BACMP = Biomasa de árboles caídos muertos dentro del transecto.

0,1 = factor de conversión cuando el transecto es de 4m x 25m.

4. Cálculos de la biomasa arbustiva/herbácea (t/ha)

Para estimar esta biomasa en t/ha, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{BAH (t/ha)} = ((\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}) * 10$$

Donde,

BAH = Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada (gr.)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (gr.)

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (Kg.)

10 = Factor de conversión

5. Cálculos de la biomasa de hojarasca (t/ha)

Para estimar la biomasa en t/ha, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Bh \text{ (t/ha)} = ((PSM/PFM) * PFT) * 40$$

Donde,

Bh	= Biomasa de la hojarasca, materia seca
PSM	= Peso seco de la muestra colectada (gr.)
PFM	= Peso fresco de la muestra colectada (gr)
PFT	= Peso fresco total por metro cuadrado (Kg.)
40	= Factor de conversión

4.4.2. Calculo del Peso del Volumen del Suelo (t/ha)

Para calcular el peso del volumen del suelo por hectárea, se evaluó primero la densidad aparente del suelo por cada uno de los horizontes evaluados.

Comprende a su vez los siguientes cálculos:

1. Cálculo de la densidad aparente (g/cc)

$$DA \text{ (g/cc)} = PSN / VCH$$

Donde,

DA (g/cc)	= Densidad Aparente
PSN	= Peso seco del suelo dentro del cilindro
VCH	= Volumen del cilindro (constante)

2. Cálculo del peso del volumen de suelo por horizonte en muestreo.

$$\text{PVs (t/ha)} = \text{DA} * \text{Ps} * 10000$$

Donde,

PVs (t/ha) = Peso del volumen del suelo

DA = Densidad Aparente

Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo

10000 = Constante

4.4.3. CÁLCULO DEL CARBONO TOTAL

$$\text{CT (t/ha)} = \text{CBV} + \text{CS}$$

Donde,

CT (t/ha) = Carbono Total

CBV = Carbono en la biomasa vegetal total

CS = Carbono en el suelo

1. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)

$$\text{CBV (t/ha)} = \text{BVT} * 0,45$$

Donde,

CBV (t/ha) = Carbono en la biomasa vegetal

BVT = Biomasa vegetal total

0,45 = Constante

2. Cálculo del carbono en el suelo (t/ha)

$$CS \text{ (t/ha)} = (PVs * \%C)/100$$

Donde,

CS (t/ha) = Carbono en el suelo, en t/ha

PVs = peso del volumen de suelo

%C = Resultados porcentaje de C analizados en el laboratorio.

100 = Factor de conversión

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres repeticiones para cada sistema agroforestal de café, donde los tratamientos fueron los estratos florísticos y el suelo. Para efectos de comparación se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuentes de variación	Grado de libertad
Estratos	5 - 1
Error	5(3 - 1)
Total	14

Para la comparación de los datos se realizó una estadística descriptiva y comparativa mediante el diagrama de cajas (boxplot) y diagrama de puntos, por tratarse de una tesis de observación, y no de experimentación, pues no se contó con “controles” ni sistemas de uso de tierras homogéneas comparables con un blanco o control. El boxplot, permite comparar simultáneamente, diversos conjuntos de datos, se trata de un gráfico simple, donde se observa de forma clara la distribución de los datos, dispersión de las medidas y sus principales características.

V. RESULTADOS

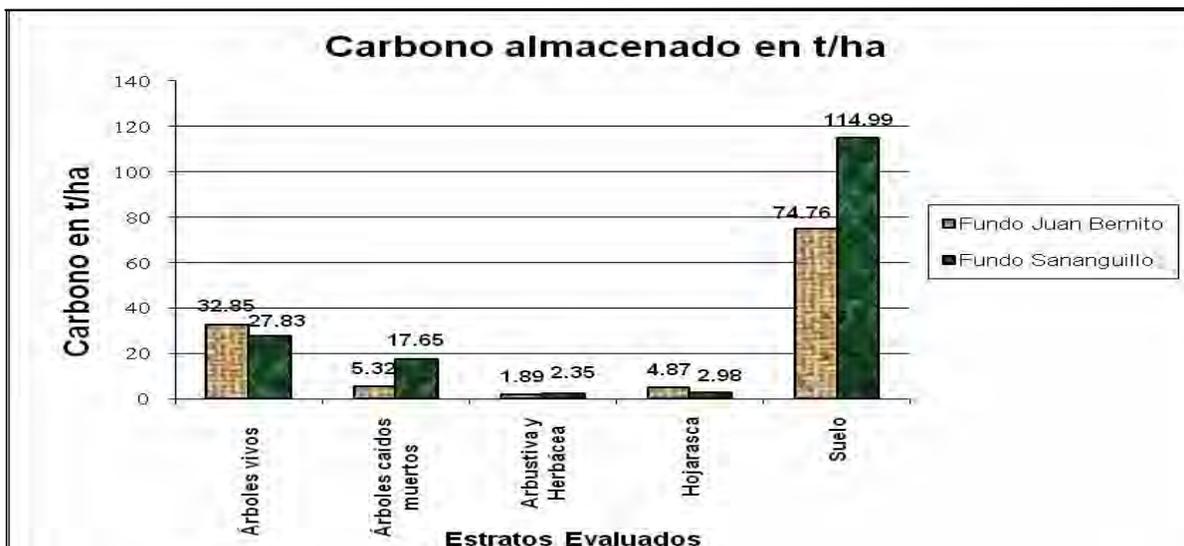


GRÁFICO N°03: Total de Carbono Almacenado en cada uno de los estratos evaluados en las parcelas de café en los Fundos Sananguillo y Juan Bernito

El gráfico N°03, muestra las reservas de carbono por cada tipo de biomasa aérea y del suelo en las dos parcelas que fueron evaluadas. En la parcela del Fundo Juan Bernito, la cantidad de carbono total (biomasa aérea y del suelo) almacenado fue de 119,37 (± 24) t/ha; donde la mayor aportación fue el carbono en el suelo con 74, 76 t/ha; seguida de los árboles vivo, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 32,85; 5,32; 4,87; 1,89 t/ha respectivamente.

En el Fundo Sananguillo, la cantidad de carbono almacenado fue 165,81(± 30) t/ha superando al total de carbono almacenado en el Fundo Juan Bernito. La mayor aportación fue el carbono en el suelo con 114,99 t/ha; seguida de los árboles vivo, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo, arbustos y las herbáceas con 27,83; 17,65; 2,98; 2,35 t/ha respectivamente.

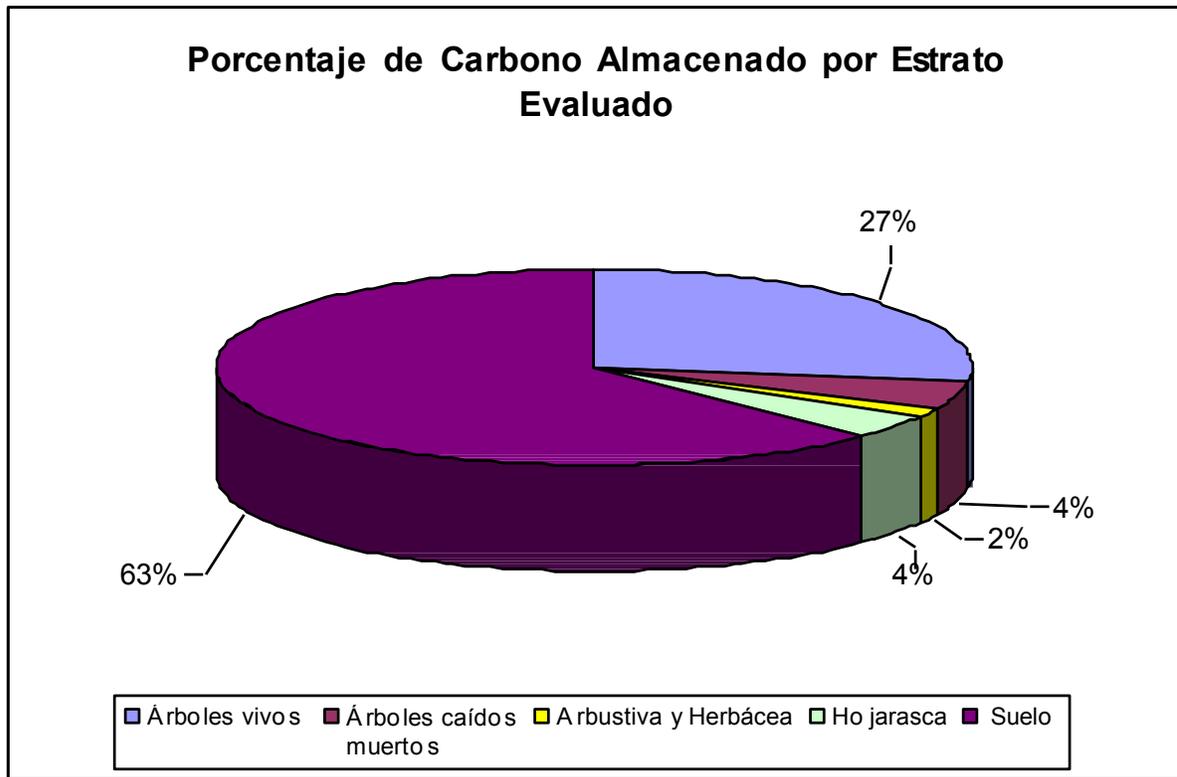


GRÁFICO N°04: Porcentaje de Carbono almacenado en la plantación de café en el “Fundo Juan Bernito” y el aporte de cada estrato evaluado.

El gráfico N°04, muestra en porcentaje, el total de carbono almacenado (biomasa aérea y del suelo) en la plantación de café en el Fundo Juan Bernito, observando que el contenido de carbono en el suelo es muy superior a los otros estratos obteniendo el 63% del total de carbono almacenado en esta plantación, siendo el segundo la biomasa de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 27%, 4%, 4%, y 2% respectivamente.

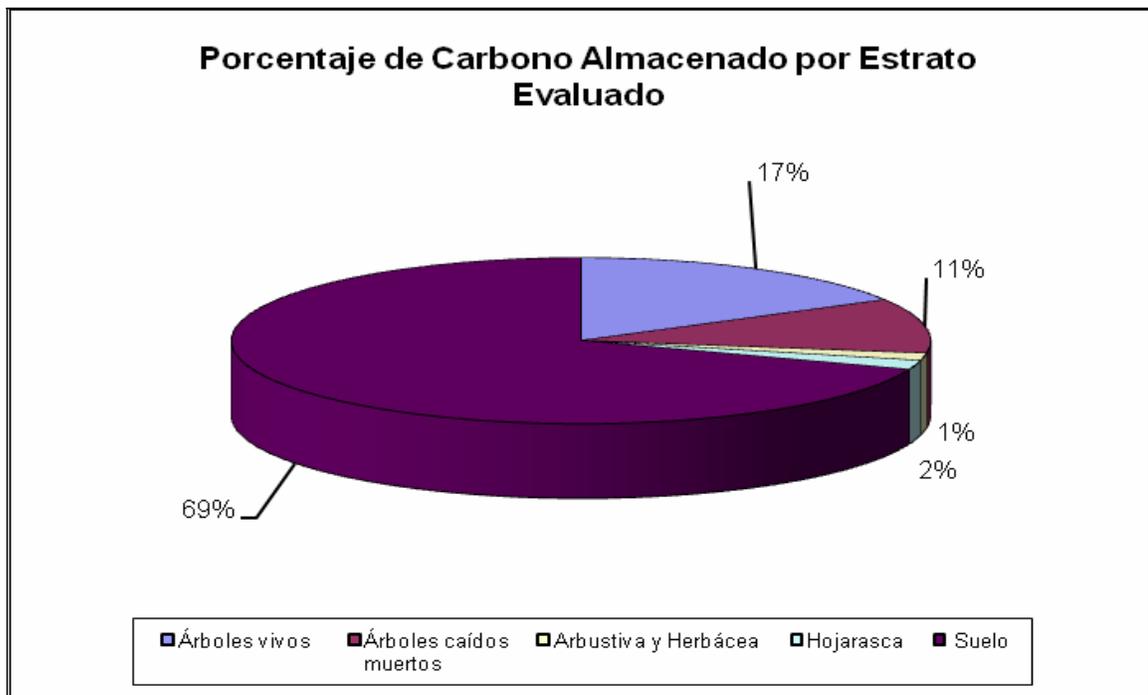
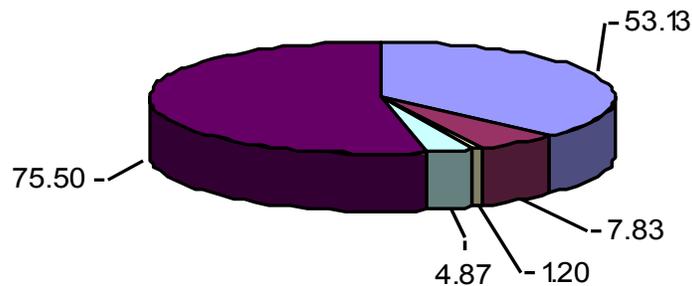


GRÁFICO N°05: Porcentaje de Carbono almacenado en la plantación de café en el “Fundo Sananguillo” y el aporte de cada estrato evaluado.

El gráfico N°05, muestra en porcentaje, el total de carbono almacenado (biomasa aérea y del suelo) en la plantación de café del Fundo Sananguillo, donde se observa que el contenido de carbono en el suelo es muy superior a los otros estratos obteniendo el 69% del total de carbono almacenado; seguido por la biomasa de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 17%, 11%, 2%, y 1% respectivamente.

Carbono Almacenado en t/ha

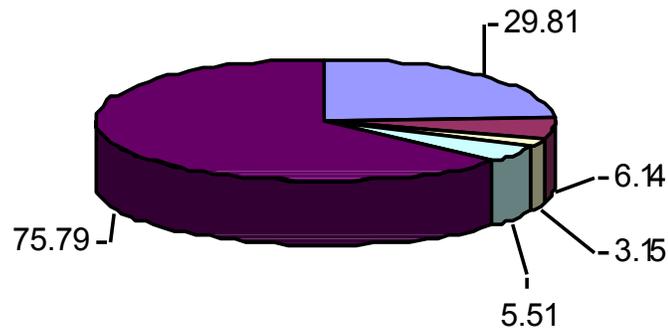


■ árboles vivos ■ árboles caídos ■ árboles muertos ■ herbáceas y arbustivas ■ Hojarasca

GRÁFICO N°06: Carbono almacenado de acuerdo al tipo de Biomasa o estrato evaluado en t/ha.

El gráfico N°06, muestra el total de carbono almacenado en el Transecto I, ubicado en la parcela de café del Fundo Juan Bernito con 142,83 t/ha; indicando que la mayor aportación de carbono es el suelo con 75,50 t/ha; seguido de árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 53,13; 7,83; 4,87 y 1,20 t/ha respectivamente.

Carbono Almacenado en t/ha



■ árboles vivos ■ árboles caídos muertos ■ herbáceas y arbustivas ■ Hojarasca ■ suelo

GRÁFICO N°07: Carbono almacenado de acuerdo al tipo de Biomasa o estrato evaluado en t/ha.

El gráfico N°07, muestra el total de carbono almacenado en el Transecto II, ubicado en la parcela de café del Fundo Juan Bernito con 120,41 t/ha; indicando que la mayor aportación de carbono es el suelo con 75,79 t/ha; seguido de árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 29,81; 6,14; 5.51 y 3.15 t/ha respectivamente.

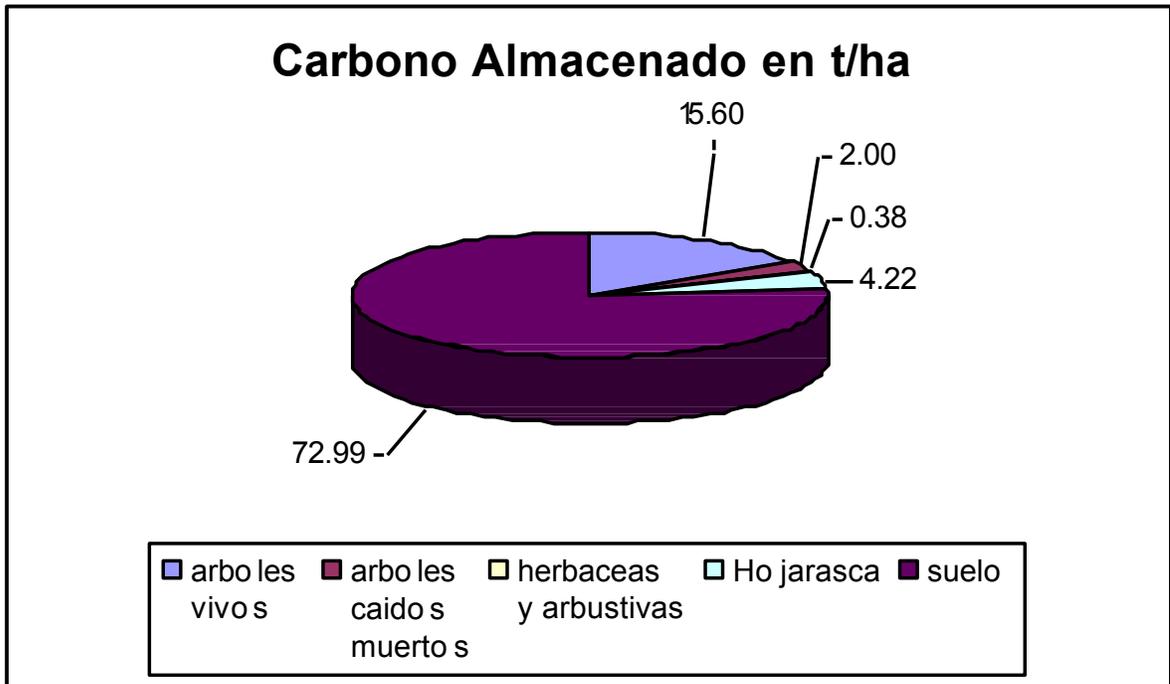


GRÁFICO N°08: Carbono almacenado de acuerdo al tipo de Biomasa o estrato evaluado en t/ha

El gráfico N°08, muestra el total de carbono almacenado en el Transecto III, ubicado en la parcela de café del Fundo Juan Bernito con 95,83 t/ha; indicando que la mayor aportación de carbono es el suelo con 72,99 t/ha; seguido de árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 15,60; 4,22; 2,00 y 0,38 t/ha respectivamente.

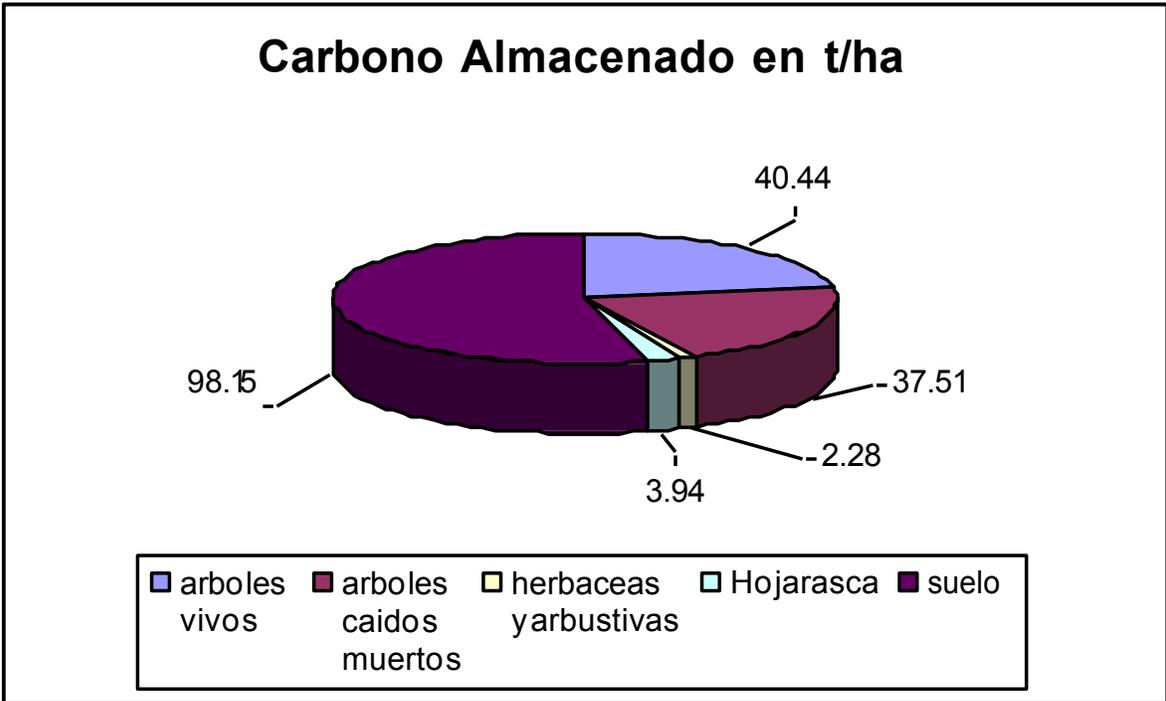


GRÁFICO N°09: Carbono almacenado de acuerdo al tipo de Biomasa o estrato evaluado en t/ha

El gráfico N°09, muestra el total de carbono almacenado en el Transecto IV, ubicado en la parcela de café del Fundo Sananguillo con 182,31 t/ha; indicando que la mayor aportación de carbono es el suelo con 98,15 t/ha; seguido de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 40,44; 37,51; 3,94 y 2,28 t/ha respectivamente.

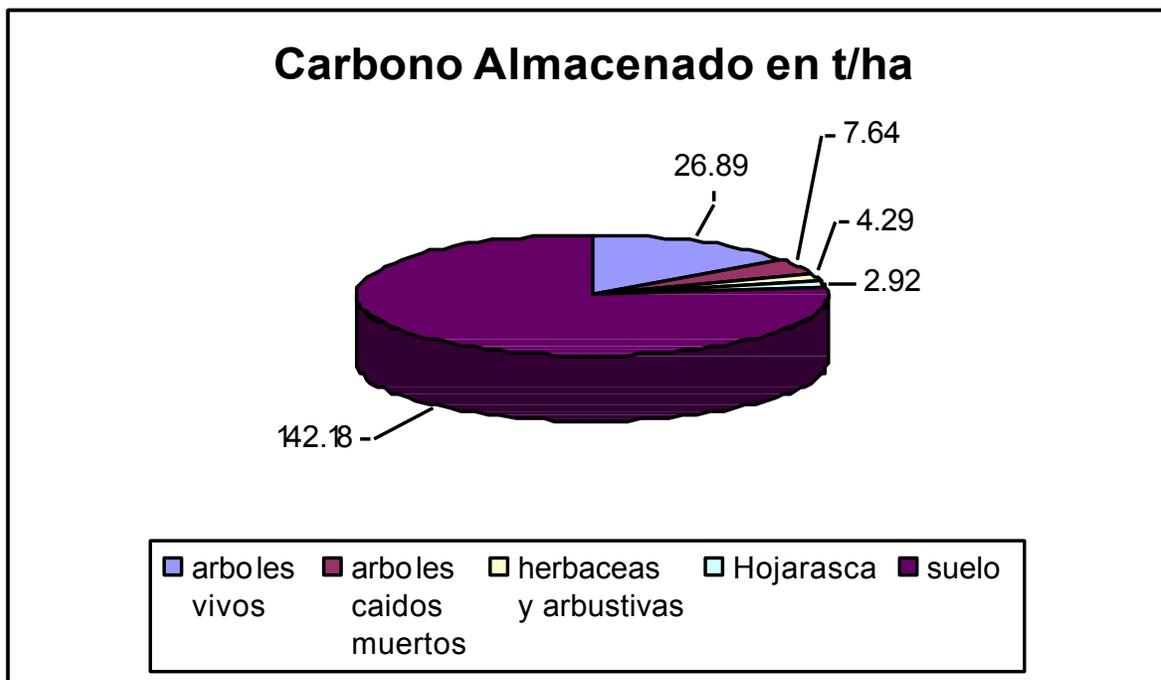


GRÁFICO N°10: Carbono almacenado de acuerdo al tipo de Biomasa o estrato evaluado en t/ha.

El gráfico N°10, muestra el carbono almacenado en el Transecto V, ubicado en la parcela de café del Fundo Sananguillo con 183,92 t/ha; indicando que la mayor aportación de carbono es el suelo con 142.18 t/ha; seguido de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 26,89; 7,64; 4,29 y 2,92 t/ha respectivamente.

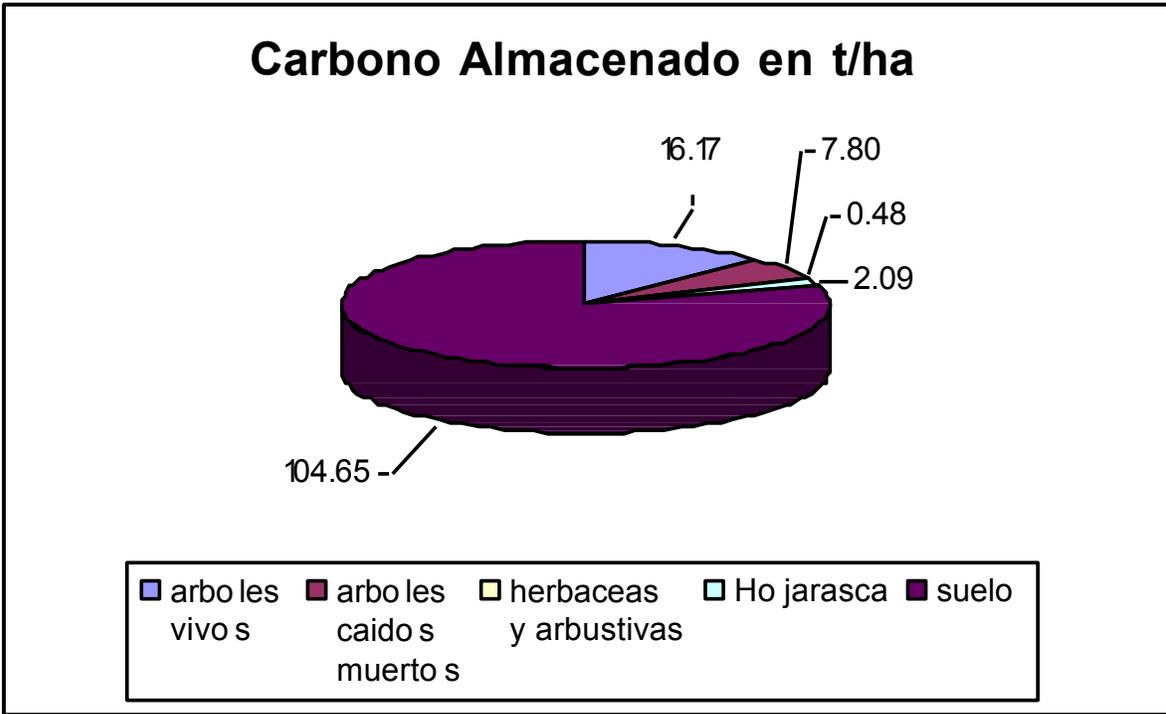
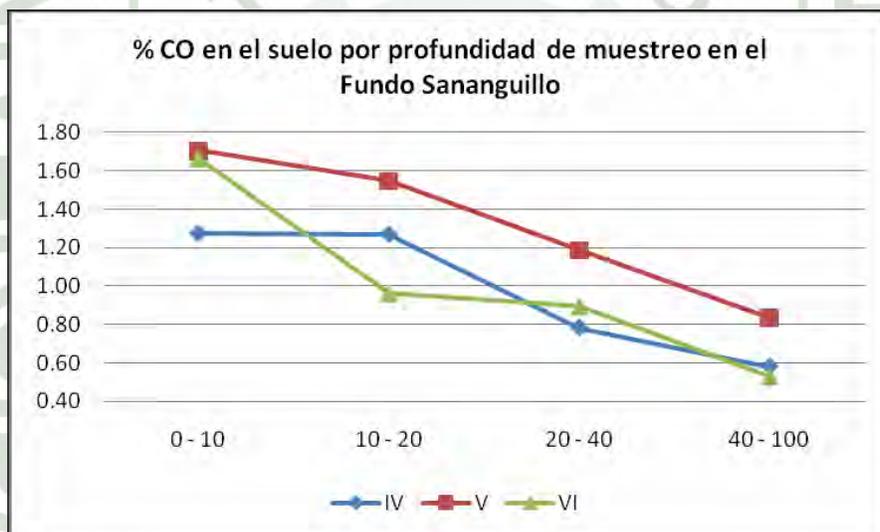
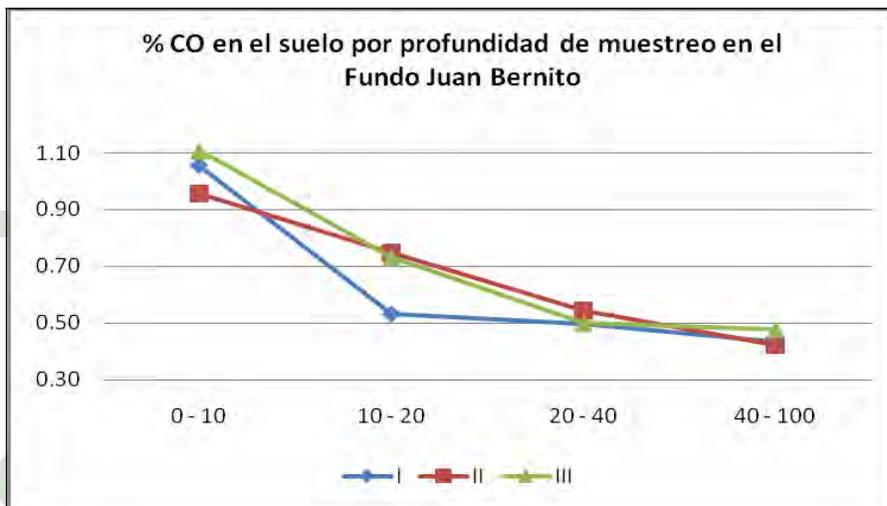


GRÁFICO N°11: Carbono almacenado de acuerdo al tipo de Biomasa o estrato evaluado en t/ha

El gráfico N°11, muestra el carbono almacenado en el Transecto VI, ubicado en la parcela de café del Fundo Sananguillo con 131,19 t/ha; indicando que la mayor aportación de carbono es el suelo con 104,65 t/ha; seguido de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos - herbáceas con 16,17; 7,80; 2,09; 0,48 t/ha respectivamente.



GRÁFICOS N°12 - 13: Porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo por profundidad de muestreo Laboratorio de Suelos ICT – 2008

Los gráficos N°12 - 13, muestran que el % CO en el suelo, se observa que el carbono fijado en el suelo va decreciendo en relación a la profundidad del suelo, tanto para los transectos del Fundo Juan Bernito (Transectos I, II, III), como para los Transectos del Fundo Sananguillo (Transectos IV, V, VI).

5.1. Análisis Estadístico

5.1.1. Carbono almacenado en t/ha a nivel de parcelas demostrativas.

El gráfico N°14, muestra la comparación de los contenidos de carbono en las dos parcelas evaluadas. La línea en negrita dentro de las cajas indica la medianía y el punto en el centro indica la media, la línea superior indica el transecto que obtuvo mayor rendimiento, la línea inferior el transecto que obtuvo menor rendimiento y las líneas verticales indican el rango de los datos que obtuvimos en las parcelas evaluadas.

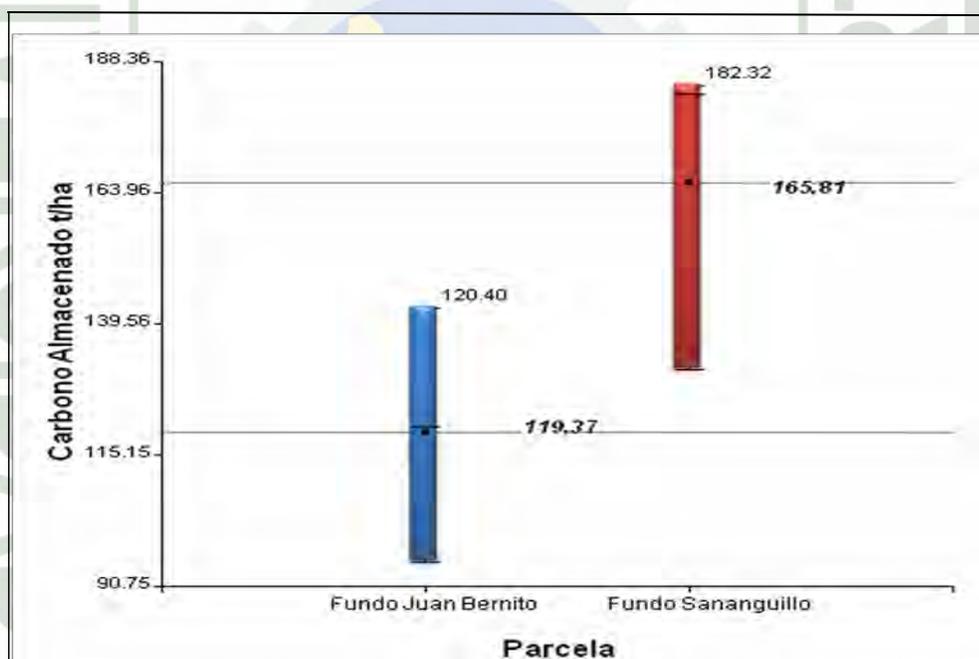


GRÁFICO N°14: Dispersión del Carbono almacenado en la biomasa aérea (biomasa viva y hojarasca) y del suelo, a nivel de parcela.

5.1.2. Carbono almacenado en t/ha a nivel de estratos (biomasa aérea y suelo) en los diferentes sistemas de café.

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro N°01), muestra resultados altamente significativos para efecto de estratos. En el Fundo Juan Bernito, donde CAVT representa al total de carbono para árboles vivos, CTACM, CAH, Ch y S, al carbono total de árboles caídos muertos, carbono de arbustivas y herbáceas, carbono de la hojarasca y del suelo respectivamente. El coeficiente de determinación (R^2) con 94.00%, indica que los estratos evaluados son relevantes en cuanto al total de carbono almacenado en t/ha, con una variabilidad de 36.17% entre estratos florísticos y el suelo.

CUADRO N°01: Análisis de varianza para el carbono capturado en los diferentes estratos en el Fundo Juan Bernito.

Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	GL	CM	F	Significado
ESTRATO	11617.41	4	2904.35	38.95	**
Error	745.7	10	74.57		
Total	12363.11	14			

**= Altamente significativo

$R^2 = 94.00\%$

CV = 36.17%

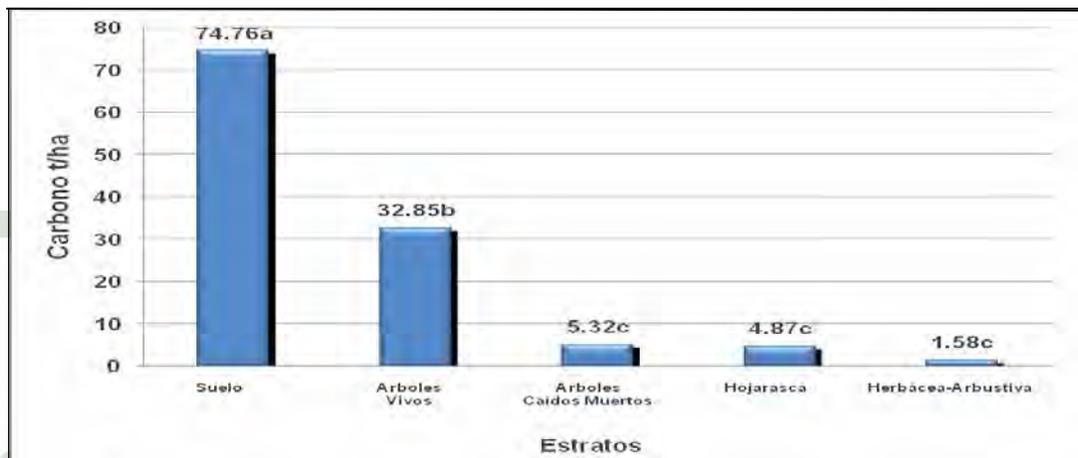


GRÁFICO N°15: Prueba de Tukey para el carbono capturado en los diferentes estratos en el Fundo Juan Bernito.

El gráfico N°15 presenta la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$), observando que: El Suelo (74.76 t/ha) alcanzó el mayor porcentaje de carbono fijado, seguidos por los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca y herbáceas – arbustivas con 32.85, 5.32, 4.87 y 1.58 t/ha respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro N°02), muestra resultados altamente significativos para efecto de estratos. En el Fundo Sananguillo, donde CAVT representa al total de carbono para árboles vivos, CTACM, CAH, Ch y S, al carbono total de árboles caídos muertos, arbustivas y herbáceas, hojarasca y suelo respectivamente. El coeficiente de determinación (R^2) con 93.00%, indica que los estratos evaluados son relevantes en cuanto al total de carbono almacenado en t/ha, con una variabilidad de 42.92% entre estratos florísticos y el suelo.

CUADRO N°02: Análisis de varianza para el carbono capturado en los diferentes estratos en el Fundo Sananguillo.

Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	GL	CM	F	Significado
Estrato	26476.55	4	6619.14	32.67	**
Error	2026.27	10	202.63		
Total	28502.82	14			

**= Altamente Significativo

$R^2 = 93.00\%$ $CV = 42.92\%$

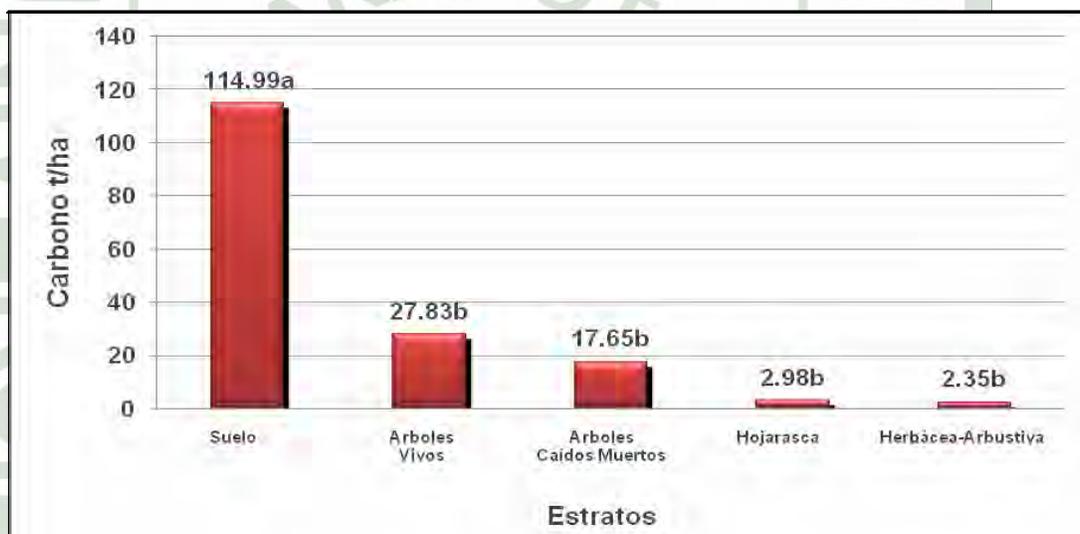


GRÁFICO N°16: Prueba de Tukey para el carbono capturado en los diferentes estratos en el Fundo Sananguillo.

El gráfico N°16 muestra la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$), observando que: El Suelo (114.99 t/ha) alcanzó el mayor porcentaje de carbono fijado, seguidos por los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca y herbáceas – arbustivas con 27.93, 17.83, 2.98 y 2.35 t/ha respectivamente.

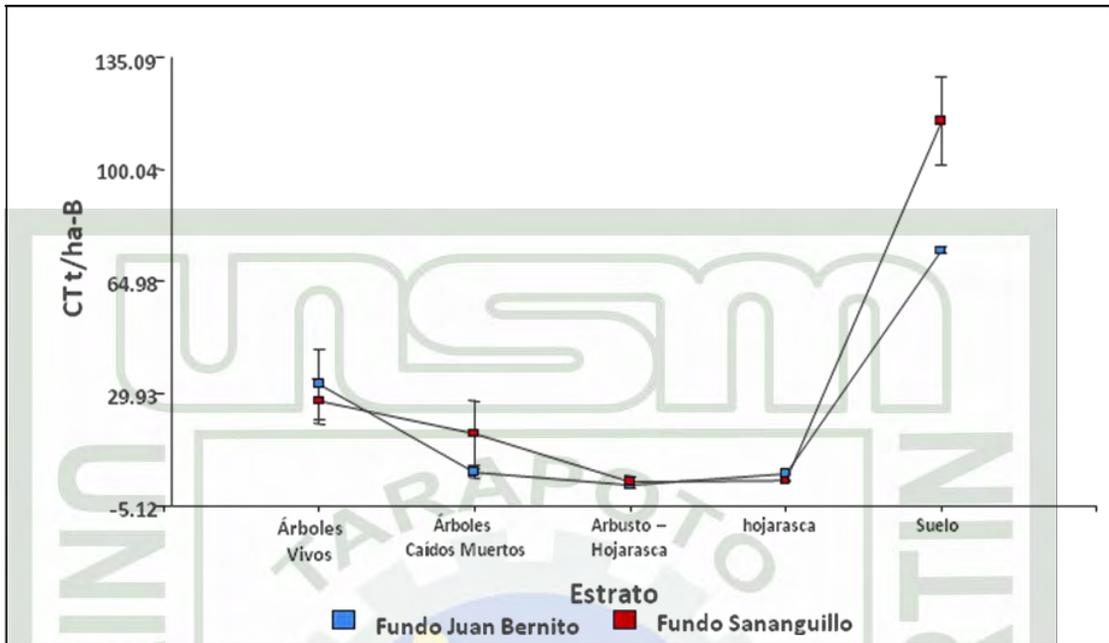


GRÁFICO N°17: Dispersión del Carbono almacenado en la biomasa aérea (biomasa viva y hojarasca) y del suelo, a nivel de estrato.

El gráfico N°17, muestra la dispersión del carbono almacenado en los diferentes estratos para ambas parcelas evaluadas, el punto de color representa la mediana y las aletas muestran la dispersión que existe en los estratos para cada sistema. La intersección de las aletas indica que no hay diferencia significativa entre las parcelas evaluadas.

5.1.3. Porcentaje de Carbono Orgánico fijado en el suelo para los diferentes sistemas de café.

El gráfico N°18, muestra la dispersión del porcentaje de carbono orgánico fijado en el suelo, en los sistemas evaluados, el punto de color representa la mediana y las aletas muestran la dispersión que existe en el suelo en cada sistema. La intersección de las aletas indica que no hay diferencia significativa entre las parcelas evaluadas.

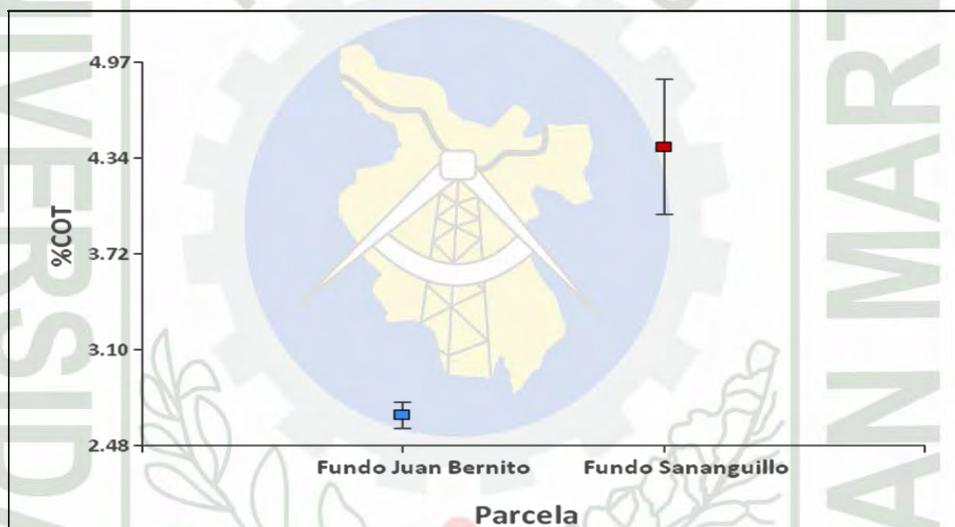


GRÁFICO N°18: Dispersión del Porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo, a nivel de parcela.

5.1.4. Porcentaje de Carbono Orgánico fijado en el suelo por horizonte.

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro N°03), muestra resultados altamente significativos en el Fundo Juan Bernito, en el porcentaje de carbono orgánico fijado en el suelo por horizonte. El coeficiente de determinación (R^2) con 93.00%, indica que el porcentaje de carbono orgánico en relación a la profundidad del suelo, son relevantes en cuanto al total de carbono almacenado en t/ha, con una variabilidad de 11.18% entre el porcentaje total de carbono fijado por profundidad de muestreo.

CUADRO N°03: Análisis de varianza para el porcentaje de carbono orgánico por horizonte de muestreo.

Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	GL	CM	F	Significado
Profundidad	0.64	3	0.21	37.99	**
Error	0.04	8	0.01		
Total	0.68	11			

**= Altamente Significativo

$R^2 = 93.00\%$

CV = 11.18%



GRÁFICO N°19: Prueba de Tukey para el porcentaje de carbono orgánico por horizonte de muestreo.

El gráfico N°19 muestra la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) en el Fundo Juan Bernito, observando que: en los primeros 10 cm se obtuvieron mayores resultados (1.04%CO), siendo altamente significativo con lo obtenido en las profundidades de 10 – 20, 20 – 40, 40 – 100 cm; con 0.67, 0.52 y 0.45 %CO respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro N°04), muestra resultados altamente significativos en el Fundo Sananguillo, en el porcentaje de carbono orgánico fijado en el suelo por horizonte. El coeficiente de determinación (R^2) con 76.00%, indica que el porcentaje de carbono orgánico en relación a la profundidad del suelo, son relevantes en cuanto al total de carbono almacenado en t/ha, con una variabilidad de 21.02% entre el porcentaje total de carbono fijado por horizonte o profundidad de muestreo.

CUADRO N°04: Análisis de varianza para el porcentaje de carbono orgánico a por horizonte de muestreo.

F.V.	SC	GL	CM	F	Significado
Profundidad	1.36	3	0.45	8.41	**
Error	0.43	8	0.05		
Total	1.79	11			

**= Altamente Significativo

$R^2 = 76.00\%$

CV = 21.02%



GRÁFICO N°20: Prueba de Tukey para el porcentaje de carbono orgánico por horizonte de muestreo.

El gráfico N°20 muestra la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$) en el Fundo Sananguillo, observando que: en los primeros 10 cm se obtuvieron mayores resultados (1.55%CO), con lo obtenido en las profundidades de 10 – 20, 20 – 40, 40 – 100 cm; con 1.26, 0.95 y 0.65 %CO respectivamente.

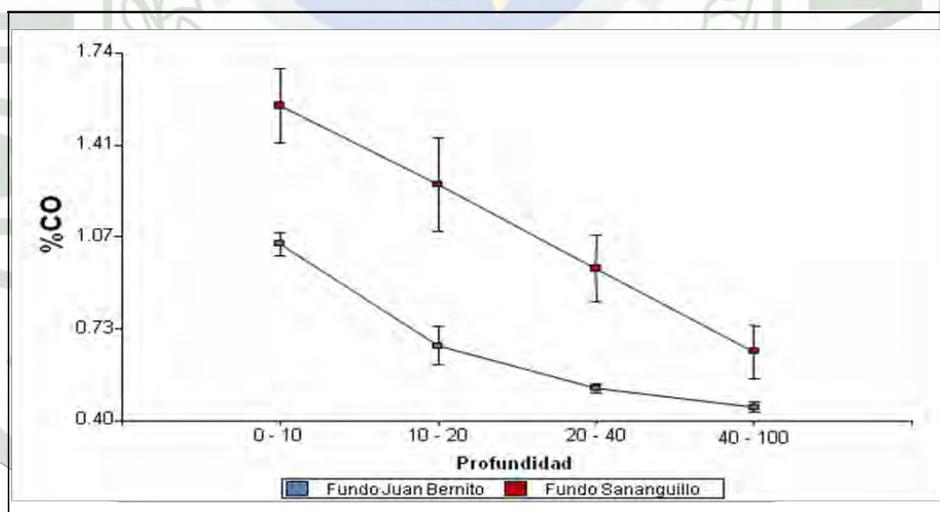


GRÁFICO N°21: Dispersión del porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo por horizonte, a nivel de parcelas.

El gráfico N°21, muestra, la dispersión del porcentaje de carbono orgánico fijado en el suelo por horizonte de muestreo para cada parcela evaluada.

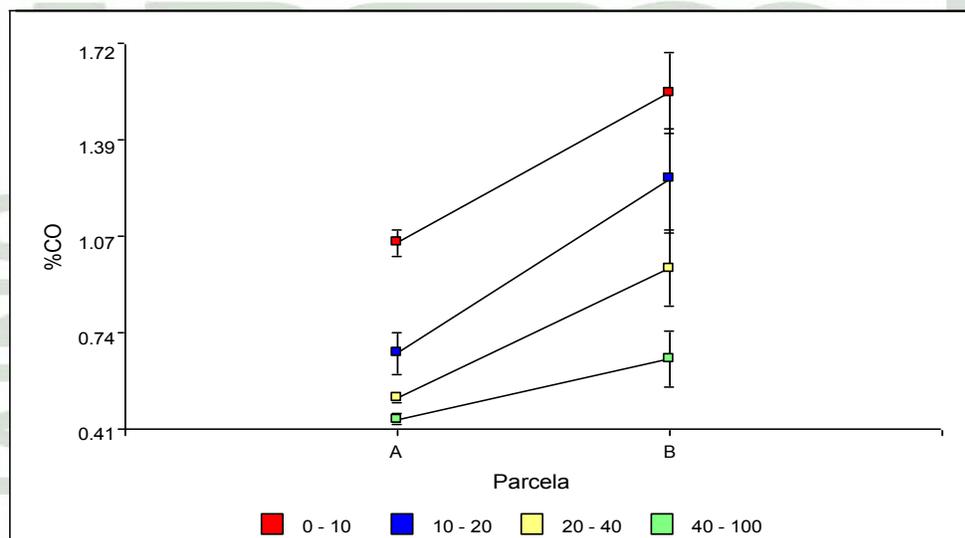


GRÁFICO N°22: Dispersión del porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo por parcelas, a nivel de horizontes.

El gráfico N°22, muestra, la dispersión del porcentaje de carbono orgánico fijado en el suelo por parcela, donde "A" representa al Fundo Juan Bernito y "B" al Fundo Sananguillo.

VI. DISCUSIONES

6.1. Carbono almacenado en t/ha a nivel de parcelas demostrativas.

- El Gráfico N°14, muestra el diagrama de cajas, que nos indica el rendimiento del carbono en t/ha almacenado, en el Fundo Sananguillo con 165.81 ($\pm 30a$) y el Fundo Juan Bernito con 119.37 ($\pm 24a$). El CATIE (2008), afirma que, los sistemas agroforestales pueden fijar y almacenar entre 12 y 228 t/ha de Carbono, incluyendo el carbono orgánico del suelo, lo cual representa entre el 20 y 46% del carbono secuestrado en bosques primarios.
- Los niveles o flujos de carbono encontrados en las parcelas evaluadas son bastante altas, presentándose una alta dispersión por parcelas debido a la variabilidad innata de éstos sistemas y que posiblemente están influenciados por la variabilidad del suelo, clima y topografía, en que se desarrollan. *Lapeyre (2004)*, afirma que, mientras mayor complejidad tiene el sistema, más amplio es el rango de variación entre las parcelas o transectos evaluados, siendo ello observado en los sistemas boscosos, agroforestales, que tienen una gran dinámica forestal. Corroborando con los resultados obtenidos en el gráfico N°14, donde la dispersión de las aletas o flujos del total de Carbono almacenado en la biomasa aérea (biomasa viva y hojarasca) y del suelo, son altas para el Fundo Juan Bernito (± 24) y para el Fundo Sananguillo (± 30).
- Los resultados obtenidos en el Fundo Juan Bernito y el Fundo Sananguillo, varían entre 63 - 69% de carbono almacenado en el suelo y 21 - 37 % en la biomasa aérea (biomasa viva y hojarasca), como se aprecia en los Gráficos N°

04 y 05. (IPCC, 2001), afirma que la cantidad de carbono almacenado en el suelo y la biomasa aérea están en una proporción de 3/1 respectivamente, donde los principales componentes del ciclo del carbono son los océanos, la atmósfera y el carbono almacenado en los ecosistemas terrestres (1 500 Pg. C en suelos y 500 Pg. C en plantas Y hojarasca). Citado por, *Muños* (2006).

6.2. Carbono almacenado en t/ha a nivel de estratos (biomasa aérea y suelo) en los diferentes sistemas de café.

- Los resultados del análisis de varianza (Cuadro N°01), muestra resultados altamente significativos para efecto de estratos, corroborando con lo obtenido con la prueba de significación Tukey ($\alpha = 0.05$), observando que: el suelo con 74.76(a) t/ha alcanzó el mayor porcentaje de carbono fijado, teniendo como resultado altamente significativo con respecto a los demás estratos, seguidos por los árboles vivos con 32.85(b) t/ha, quien obtuvo alta significancia referente a los árboles caídos muertos, hojarasca y herbáceas – arbustivas con, 5.32(c), 4.87(c) y 1.58(c) t/ha respectivamente, quienes no tuvieron significancia entre sus resultados.
- Se observó gran diferencia en el almacenamiento de carbono en el suelo en los dos sistemas (114,99 t/ha para el Fundo Sananguillo y 74,76 t/ha para el Fundo Juan Bernito), El sistema evaluado en la parcela de café del Fundo Sananguillo obtuvo mayor cantidad de carbono almacenado en el suelo, como respuesta a la rápida descomposición de la hojarasca como consecuencia del aumento de Temperatura de la superficie, combinada con un alto grado de humedad en esta

zona (1871 mm/año) y por el contenido de arcilla en el suelo. En comparación con lo obtenido en la parcela del Fundo Juan Bernito. Corroborando con *Sánchez, 1981* quien afirma que los suelos tropicales tienen contenidos bajos de Materia Orgánica debido a las altas temperaturas y rápidas tasa de descomposición.

- El Carbono secuestrado en árboles vivos de la parcela de café del Fundo Juan Bernito fue 32,85 t/ha, superando a lo obtenido en la parcela del Fundo Sananguillo con 27,83 t/ha; esta ligera superioridad se debe a que en el Fundo Juan Bernito existe mayor densidad de árboles y especies arbóreas por hectárea; comportamiento diferente a lo obtenido en el Fundo Sananguillo donde varias de las plantas existentes son especies maderables jóvenes de 5 a 10 años y con menor densidad.
- El carbono almacenado en árboles caídos muertos en el Fundo Juan Bernito fue 5,32 t/ha, siendo inferior al que obtuvimos en el Fundo Sananguillo con 17.65 t/ha; esta diferencia se debe probablemente a que los árboles muertos evaluados en ambas altitudes corresponden a especies del genero Inga variando el tamaño, número, grosor de las mismas, edad, etc.
- Existe diferencia entre volúmenes obtenidos de hojarasca en ambos sistemas, siendo mayor en el Fundo Juan Bernito con 4,07 t/ha comparativamente a lo obtenido en el Fundo Sananguillo con 2,98 t/ha, este ultimo influenciado por la topografía accidentada del terreno, lo que propicia el arrastre de las hojas

favorecido por la escorrentía producto de las precipitaciones que caen con mayor intensidad en esta zona , además, debido a la baja densidad de árboles que presenta este sistema y a la alta tasa de descomposición favorecidas por las altas temperaturas.(Anexo N°06).

- La FAO afirma que los contenidos de Carbono dependen de los principales factores a largo plazo, Corroborando con *De La Vega, 2007*, quien afirma que los índices de captura de carbono varían al tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo. Citado por: Larrea, 2007.
- El carbono contenido en la biomasa arbustiva y herbácea en el Fundo Sananguillo fue 2,35 t/ha, superando al obtenido en el Fundo Juan Bernito con 1,89 t/ha, en el primer caso, por deficientes prácticas culturales como la falta de poda y control de malas hierbas, en esta parcela, es común encontrar plantas de café con 5 cm. de diámetro en la base de planta, lo que determina que haya mayor acumulación de carbono, concordando con lo manifestado por Isminio (2006), quien afirma que la mayor acumulación de carbono en cafetos mayores de 5 años, puede deberse al grosor de los tallos y las ramas por que en estas partes se acumula mayor cantidad de carbono, así mismo las condiciones climáticas apropiadas para el desarrollo del café, corroborando con Fischersworing y RoBkamp, (2001), quienes afirman que una plantación de café a libre crecimiento llega más pronto a la edad de renovación (a partir del séptimo año). Si la plantación se deja por más tiempo bajará considerablemente y se dificultarán las labores de cultivo y de cosecha.

6.3. Porcentaje de Carbono Orgánico fijado en el suelo para los diferentes sistemas de café.

- La formación de complejos establecidos entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido de arcillas en el suelo. Los suelos arenosos carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica y es posible lograr la absorción y estabilización del carbono en ellos, pero los suelos en su mayoría arcillosos tienen una capacidad determinante en la absorción del carbono. (Schimel, 1998 y Oren, 2001). Consultado por: Larrea, 2007. Corroborando con los resultados de análisis de suelos obtenidos en la parcela de café del Fundo Sananguillo donde hubo predominancia de suelos de textura arcillosa.

6.4. Porcentaje de Carbono Orgánico fijado en el suelo por horizonte.

- En los resultados obtenidos del carbono almacenado en el suelo en los Fundos Juan Bernito y Sananguillo, el porcentaje de Carbono Orgánico obtenido en el laboratorio varían, decreciendo según la profundidad del suelo. Muños, 2006, corrobora esto al mencionar que es importante definir que la acumulación de carbono en profundidad determina la posibilidad de considerar un determinado ecosistema como sumidero de CO₂ atmosférico, y al determinar en el análisis del contenido de su perfil permite determinar que el carbono disminuye en profundidad, donde el decrecimiento es en forma exponencial, corroborando con Bernoux et al., 1998, quien indica que en sistemas agrícolas es común encontrar disminuciones exponenciales de carbono.

VII. CONCLUSIONES

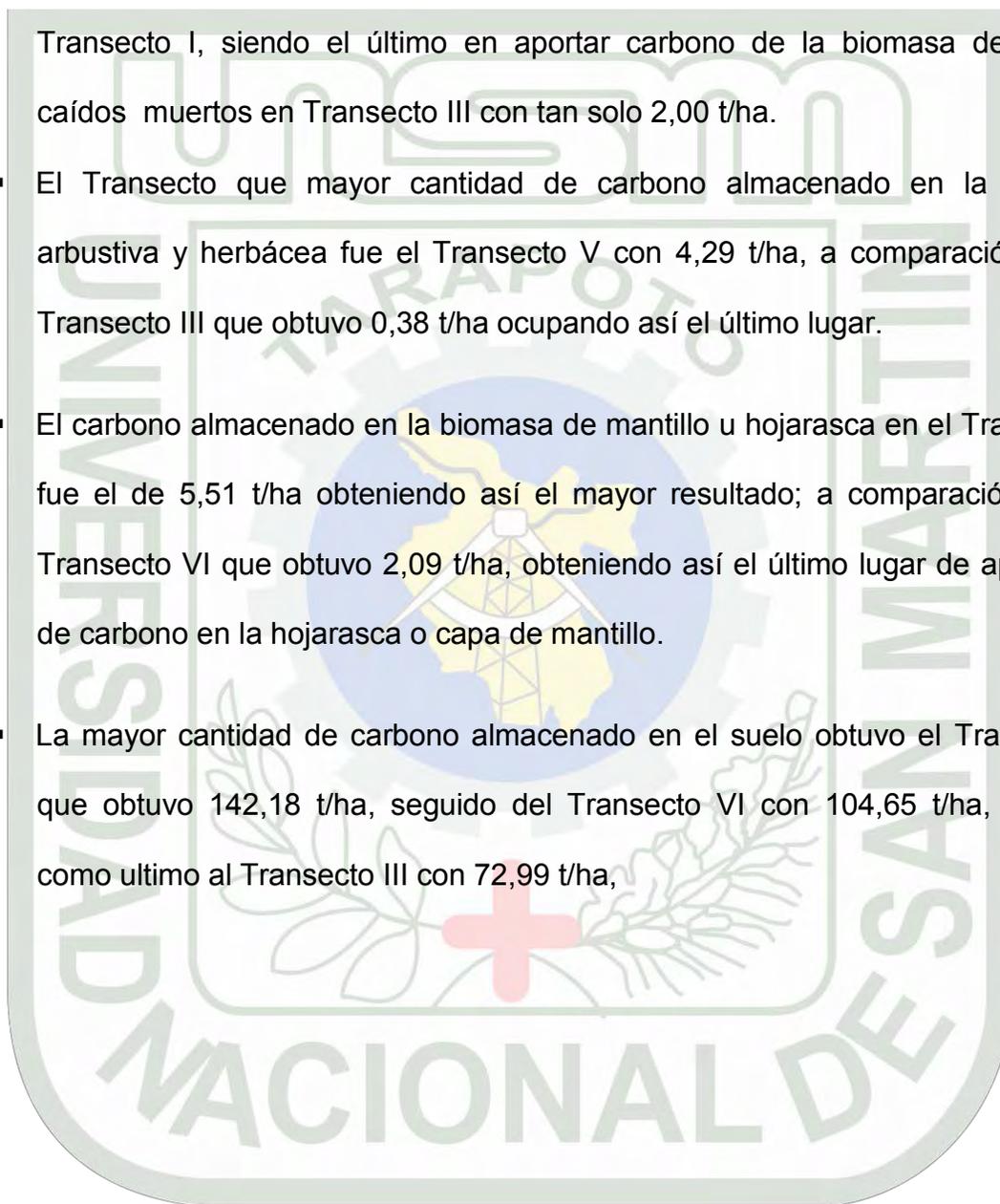
7.1. Carbono almacenado en t/ha a nivel de parcelas demostrativas.

- Los resultados de cuantificación de biomasa y reservas de carbono en sistemas agroforestales de café en dos pisos altitudinales en la Región San Martín, obtuvieron que el sistema que mayor cantidad de carbono almacenado fue la parcela del Fundo Sananguillo con 165,81 ($\pm 30a$), superando al Fundo Juan Bernito con 119,37 ($\pm 24a$); sin embargo el diagrama de cajas (Gráfico N°13), nos muestra que ambos resultados son estadísticamente iguales.
- Existe diferencia significancia ($p=0,0179$) entre el porcentaje de carbono orgánico en el suelo del Fundo Sananguillo con 4,41% ($\pm 0,76a$), comparativamente a lo obtenido en el Fundo Juan Bernito que solo alcanzó 2,68% ($\pm 0,15b$) t/ha.
- Existe una alta diferencia significativa ($p < 0,0001$) entre los estratos evaluados, en el Fundo Sananguillo el suelo obtuvo una mayor media de 114,99 ($\pm 23,73$), seguida de árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca y Arbustiva – Herbácea que presentaron 27,83 ($\pm 12,16$) t/ha; 17,65 ($\pm 17,2$) t/ha; 2,98 ($\pm 0,93$) t/ha; 2,35 ($\pm 1,91$) t/ha; respectivamente. Al igual que el Fundo Juan Bernito el suelo obtuvo una mayor media de 74,76 ($\pm 1,54$) t/ha, seguida de árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca y Arbustiva – Herbácea que presentaron 32,85 ($\pm 18,95$) t/ha; 5,32 ($\pm 3,0$) t/ha; 4,87 ($\pm 0,65$) t/ha; 1,58 ($\pm 1,42$) t/ha; respectivamente.

7.2. Carbono almacenado en t/ha a nivel de Transectos.

- Existe alta significancia entre el carbono almacenado en el suelo del Fundo Sananguillo con 114,99 t/ha, comparativamente a lo obtenido en el Fundo Juan Bernito que solo alcanzó 74,76 t/ha.
- La cantidad de carbono almacenado en la biomasa de árboles caídos muertos del Fundo Juan Bernito fue inferior con 5,32 t/ha, comparando con lo obtenido en el Fundo Sananguillo con 17,65 t/ha.
- El carbono almacenado en la biomasa de mantillo u hojarasca en el Fundo Juan Bernito fue de 4,87 t/ha y de 2,97 t/ha para el fundo Sananguillo.
- El carbono almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea en el Fundo Sananguillo fue de 2,35 t/ha, y 1,89 t/ha para el Fundo Juan Bernito.
- El sistema que mostró mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbórea fue el Transecto I, que es el de Café con sombra de Guaba, Huimba, Shaina y Eritrina. A su vez el sistema que menos cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbórea fue el Transecto III, que es el Café con sombra de Guaba, Yanavara, Yangua y Shaina.

- La mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa de árboles caídos muertos se obtuvo en el Transecto IV con 37,51 t/ha, teniendo como resultado una alta significancia ya que el segundo solo obtuvo 7,83 t/ha que fue el Transecto I, siendo el último en aportar carbono de la biomasa de árboles caídos muertos en Transecto III con tan solo 2,00 t/ha.
- El Transecto que mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea fue el Transecto V con 4,29 t/ha, a comparación con el Transecto III que obtuvo 0,38 t/ha ocupando así el último lugar.
- El carbono almacenado en la biomasa de mantillo u hojarasca en el Transecto II fue el de 5,51 t/ha obteniendo así el mayor resultado; a comparación con el Transecto VI que obtuvo 2,09 t/ha, obteniendo así el último lugar de aportación de carbono en la hojarasca o capa de mantillo.
- La mayor cantidad de carbono almacenado en el suelo obtuvo el Transecto V que obtuvo 142,18 t/ha, seguido del Transecto VI con 104,65 t/ha, teniendo como último al Transecto III con 72,99 t/ha,



VIII. RECOMENDACIONES

8.1 Se requiere promover un programa que incluya:

- Una propuesta para la consideración de los cafetales con sombra diversificada en el almacenamiento y fijación de CO₂.
- La revaloración del sistema productivo de café bajo sombra y sensibilizar a los productores cafetaleros de la región, sobre la necesidad de conservar estos sistemas productivos. Esto debe hacerse bajo un esquema de oportunidades de ingresos económicos por el pago de servicios ambientales, y dentro de un proceso de autogestión, que permita la constitución de organizaciones locales para el manejo integral de los cafetales.
- Sensibilizar a las autoridades municipales, sobre la necesidad de fomentar el mantenimiento de los cafetales con sombra diversificada, como proveedores de servicios ambientales locales, y proponer su consideración como parte del Plan de Desarrollo Municipal, así como de su Reglamento Ambiental Municipal.

8.2 Si los agricultores cafetaleros dedicaran incursiones en el negocio de los Créditos de Carbono, deberán evaluar la rentabilidad del sistema elegido, así como la liquidez necesaria para invertir en la certificación del servicio de captura de Carbono.

8.3 Realizar trabajos complementarios a este trabajo de investigación y en los demás temas de captura de carbono en diferentes sistemas agroforestales, tanto en la Región San Martín como en las demás Regiones del Perú.

8.4 Realizar trabajos de investigación orientados a los niveles de almacenamiento de Carbono en los diferentes usos de tierra poniendo énfasis en los sistemas agroforestales.

8.5 Al Ministerio de Agricultura, al Ministerio de Medio Ambiente y a todas las autoridades competentes de la Región San Martín, difundir sobre la importancia que tiene la concentración de carbono almacenado y su efecto en el medio ambiente.

8.6 Vale la pena recalcar la importancia de hacer una buena selección de especies, correcta asociación y un diseño adecuado del sistema a utilizar en función a los posibles fines y sobre todo según las prioridades de uso que el agricultor quiera dar a su parcela. Para este caso se recomienda alternar el cultivo de café con especies forestales y frutales que permitan obtener diferentes subproductos y beneficios al sistema, tanto como para seguridad nutricional de la familia productora así como para fines comerciales (venta de productos como frutas, madera, medicina, etc.), y adicionalmente a todos estos beneficios, también es posible aprovechar cualquier sistema agroforestal con fines de venta de Créditos de Carbono para la cual se debe procurar dinamizar la fijación de Carbono cada año, asegurándose de cumplir los requisitos establecidos por el Protocolo de Kyoto.

IX. RESUMEN

El presente ensayo titulado *“Cuantificación de Biomasa y Reserva de Carbono en Sistemas Agroforestales de Café (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales”*, pretende contribuir a la generación de información base para la elaboración de proyectos de comercialización de créditos de carbono, a través del aprovechamiento de sistemas agroforestales de café en la amazonía, como sumideros de gases de efecto invernadero y como posible motor de desarrollo para los productores cafetaleros. Se utilizó una estadística descriptiva y comparativa, que tiene como propósito cuantificar la reserva de carbono en sistemas agroforestales con Café de dos pisos altitudinales en la Región San Martín. Estas comparaciones se realizaron en la EE - ICT, ubicado a 2.5 Km. de Tarapoto, en el Distrito de la Banda de Shilcayo, Sector Laguna Venecia (transectos 1, 2, 3), y en el Fundo Sananguillo, sector Sananguillo, a 10 Km. de la ciudad de Lamas, en el distrito de Lamas, Provincia de Lamas, (transectos 4, 5, 6).

Los resultados muestran las reservas de carbono por cada tipo de biomasa aérea y del suelo en las dos parcelas que fueron evaluadas. En la parcela del Fundo Juan Bernito, la cantidad de carbono total (biomasa aérea y del suelo) almacenado fue de 119,37 t/ha; donde la mayor aportación fue el carbono en el suelo con 74, 76 t/ha; seguida de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos-herbáceas con 32,85; 5,32; 4,87; 1,89 t/ha respectivamente. En el Fundo Sananguillo, la cantidad de carbono almacenado fue 165,81 t/ha superando al total de carbono almacenado en el Fundo Juan Bernito. La mayor aportación fue el carbono en el suelo con 114,99 t/ha; seguida de los árboles vivo, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo, arbustos y las herbáceas con 27,83; 17,65; 2,98; 2,35 t/ha respectivamente.

X. SUMMARY

This essay entitled "Quantifying Biomass and Carbon Reserve Agroforestry Coffee (*Coffea arabica* L.) in two levels of altitude," aims to contribute to the generation of information basis for the development of projects for marketing carbon credits, through the use of agro coffee in the Amazon, as sinks of greenhouse gases and as a potential engine of development for coffee producers. We used a descriptive statistics and comparative, which aims to quantify the pool of carbon in agroforestry systems Coffee and two levels of altitude in the San Martín region. These comparisons were made in the E.E. - ICT, located 2.5 km. Tarapoto, in the district Banda of Shilcayo, Sector Venice Lagoon (transects 1, 2, 3), and the Fundo Sananguillo, Sananguillo sector, 10 km. the town of Lamas, in the district of Lamas, Province of Lamas, (transects 4, 5, 6).

The results show carbon stocks for each type of biomass and soil in the two plots that were evaluated. In the parcel Fundo's Juan Bernito, the total amount of carbon (biomass and soil) in storage was 119.37 t / ha, where the greatest contribution was the carbon in the soil with 74, 76 t / ha, followed by living trees, dead fallen trees, leaves or mulch and shrub-herbs with 32.85, 5.32, 4.87, 1.89 t / ha respectively. In the Fundo Sananguillo, the amount of carbon stocks was 165.81 t / ha, surpassing the total carbon stored in the Fundo Juan Bernito. The biggest contribution was the carbon in the soil with 114.99 t / ha, followed by the trees alive, dead fallen trees, leaves or mulch, shrubs and herbaceous with 27.83, 17.65, 2.98, 2, 35 t / ha respectively.

XI. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- 9.1. **ALEGRE, J., ARÉVALO, L. y PALMA, C. 2001.** Manual - Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios en la amazonía peruana. Gráfica San miguel. Lima – Perú.
- 9.2. **ARÉVALO, L., ALEGRE, J. y PALMA, C. 2003.** Manual - Determinación de Reservas Totales de Carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Gráfica San miguel. Lima – Perú.
- 9.3. **Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE, 2004.** “Agroforestería de las Américas”. Costa Rica. Pág.16 – 21.
- 9.4. **Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE, 2008.** “Agroforestería de las Américas”. Costa Rica. Pág. 26 – 45.
- 9.5. **ECOSUR. 2002.** “Proyecto Piloto Internacional para la Captura de Carbono y Desarrollo Silvicultural Comunitario en Chiapas – México” D.F. 5 p. <http://www.ecosur.mx/scoel/cc.htm>.
- 9.6. **FISHERSWORRING, B., ROBKAMP, R. 2001.** “Caficultura Ecológica” Popayán – Colombia. Pág. 88.
- 9.7. **ISMINIO, M. 2006.** “Estimación del Carbono en la Biomasa Aérea del Café bajo sombra de guaba en la Provincia de Lamas - Perú” Para optar el Título de Ingeniero Agrónomo, UNSM – T Pág. 17.

9.8. INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES – ICT. 2006. “Biomasa y Carbono almacenado en un sistema de Manejo Mejorado de Cacao en la Selva Peruana” Artículo Científico. Tarapoto Perú.

9.9. JANDL, R. 2001. “Medición de Tendencias en el Tiempo de Almacenamiento de Carbono en el Suelo” Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia – Chile. Pág. 01 [En Línea] [Citado 09 Agosto 2008]: (<http://www.icp-forests.org>, documento).

9.10. LARREA, C. 2007. “Determinación de las reservas de carbono en la Biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L.” Para optar el Título de Ingeniero Ambiental, UNAS Pág. 06 – 84.

9.11. LAPEYRE, T. ALEGRE, J. y AREVALO, L. 2004. “Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú”. *Ecol. apl.* [En Línea]. [citado 28 Octubre 2008], ([http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162004000100006 &lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162004000100006&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1726-2216).

9.12. LOPEZ, W. 1994. “Sistemas Agrarios de producción” Tarapoto – Perú. 113 p.

9.13. MÁRQUEZ, O. 2005. “Cálculo de Biomasa y Captura de carbono en Cuatro sistemas Agroforestales con Café, en Tarapoto”. Prácticas Pre-Profesionales, Universidad Nacional Agraria La Molina –. Pág. 07 – 53.

9.14. MUÑOS, M. 2006. “Dinámica del Carbono Orgánico del Suelo en Ecosistemas de la Zona Mediterránea de Chile” Para optar al Grado Académico de Doctor en Ciencias de Recursos Naturales, Temuco - Chile Pág. 44 – 45

9.15. OREN, R. et al. 2001. “Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystem in a CO₂, enriched atmosphere, Nature”.

9.16. Organización de las Naciones Unidas. 2002. “Suelos para un mejor manejo de la Tierra” Roma – Italia. [En Línea] [Citado 8 Agosto 2008] ([http://www.fao.org/carbono en el suelo](http://www.fao.org/carbono%20en%20el%20suelo)).

9.17. SÁNCHEZ, P. 1981. “Suelos del Trópico, Características y Manejo” Ed. IICA, San José – Costa Rica Pág. 167.

9.18. HIMEL, D. 1998. “The carbón equation, Nature.

9.19. MITH, 1993. “Captura de Carbono en un bosque tropical” Michoacan – México.

9.20. TORRES, 2007. “Sistemas Agroforestales y Prácticas Agrícolas”, [En Línea] [Citado 8 Agosto 2008]: (<http://es.wikipedia.org/wiki/Agroforestería>).

9.21. VILLALOBOS, S. F., 2005. El fenómeno del cambio climático. [En Línea] [Citado 8 Agosto 2008]:(<http://www.monografias.com/trabajos48/secuestro-de-carbono/secuestro-de-carbono.shtml>), documento).



ANEXO

ANEXO N°1

**Cuadro N°07: Total de Carbono almacenado en los diferentes estratos
en los Fundos “Juan Bernito” y “Sananguillo”**

Transectos	Total de Carbono almacenado t/ha				
	Árboles Vivos	Árboles Caídos Muertos	Herbáceas y Arbustivas	Hojarasca	Suelo
Transecto I Café, Huimba, guaba Shaina, Eritrina	53.13	7.83	1.20	4.22	75.50
Transecto II Café, Huimba, guaba Shaina,	29.81	6.14	3.15	5.51	75.79
Transecto III Café, Guaba, Yanavara, Shaina, Yangua	15.60	2.00	0.38	4.87	72.99
Transecto IV Café, guaba, Shaina, Caoba, Ishpingo, Cacapana,	40.44	37.51	2.28	3.94	98.15
Transecto V Café, Guaba, Bolaina, Moena, Cedro, Shaina	26.89	7.64	4.29	2.92	142.18
Transecto VI Café, Guaba, Shimbillo, Rifari	16.17	7.80	0.48	2.09	104.65

ANEXO N°2

CROQUIS DE CAMPO

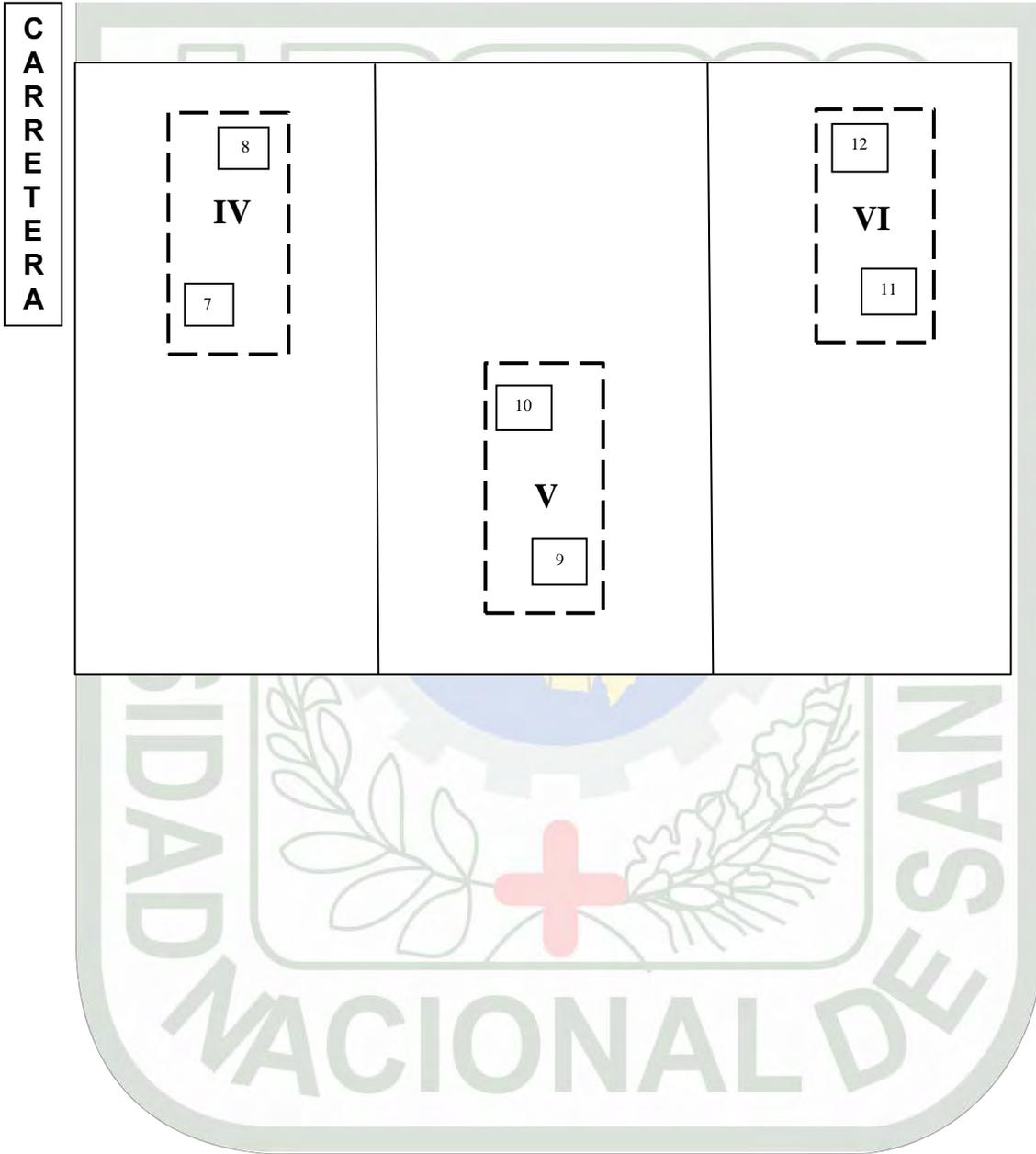
Fundo "Juan Bernito"

Sistema Agroforestal con Café (*Coffea arabica*)



Fundo "Sananguillo"

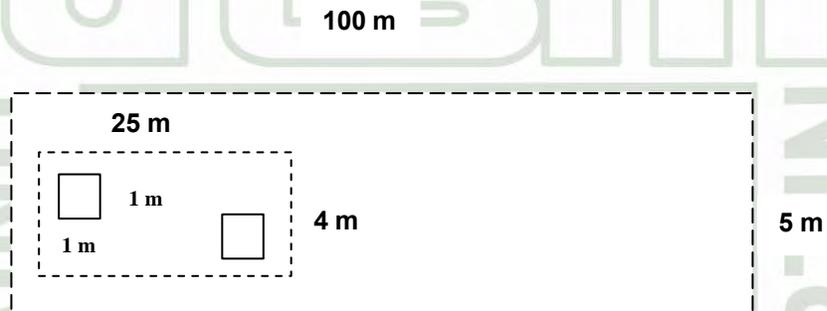
Sistema Agroforestal con Café (*Coffea arabica*)



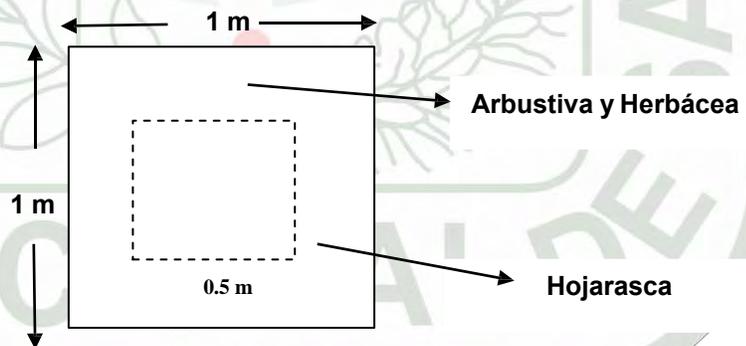
ANEXO N°3:

DETALLE DE BLOQUE Y TRANSECTOS DE EVALUACIÓN

Diseño de parcelas de evaluación de biomasa por estrato florístico



Para evaluación de biomasa arbustiva-herbácea y hojarasca



ANEXO N°4:

HOJA DE TRABAJO N°01

BIOMASA DE ÁRBOLES VIVOS EN EL “FUNDO JUAN BERNITO”

Transecto	Número de planta	DAP (cm.)	Biomasa en Kg/árbol	Biomasa en t/ha	Carbono almacenado en t/ha
I	1	9.00	30.73	3.07	1.38
	2	22.50	312.16	31.22	14.05
	3	11.40	55.89	5.59	2.51
	4	21.90	291.52	29.15	13.12
	5	20.00	231.72	23.17	10.43
	6	5.70	9.68	0.97	0.44
	7	14.20	97.42	9.74	4.38
	8	12.50	70.56	7.06	3.18
	9	13.20	80.98	8.10	3.64
SUBTOTAL			1180.65	118.07	53.13
II	1	22.70	319.23	31.92	14.37
	2	16.70	146.83	14.68	6.61
	3	13.50	85.72	8.57	3.86
	4	10.00	40.12	4.01	1.81
	5	12.50	70.56	7.06	3.18
SUBTOTAL			662.46	66.25	29.81
III	1	21.50	278.24	27.82	12.52
	2	5.40	8.44	0.84	0.38
	3	11.50	57.14	5.71	2.57
	4	3.50	2.82	0.28	0.13
SUBTOTAL			346.63	34.66	15.60
PROMEDIO			729.92	72.99	32.85

HOJA DE TRABAJO N°2

BIOMASA DE ÁRBOLES VIVOS EN EL “FUNDO SANANGUILLO”

Transecto	Número de planta	DAP (cm.)	Biomasa en Kg/árbol	Biomasa en t/ha	Carbono almacenado en t/ha
IV	1	9.50	35.24	3.52	1.59
	2	14.70	106.33	10.63	4.78
	3	19.10	206.24	20.62	9.28
	4	3.40	2.62	0.26	0.12
	5	3.90	3.70	0.37	0.17
	6	8.80	29.03	2.90	1.31
	7	4.50	5.32	0.53	0.24
	8	3.80	3.47	0.35	0.16
	9	24.50	387.21	38.72	17.42
	10	3.00	1.91	0.19	0.09
	11	15.30	117.66	11.77	5.29
SUBTOTAL			898.72	89.87	40.44
V	1	13.50	85.72	8.57	3.86
	2	9.60	36.18	3.62	1.63
	3	3.00	1.91	0.19	0.09
	4	26.00	450.02	45.00	20.25
	5	7.80	21.40	2.14	0.96
	6	3.20	2.25	0.22	0.10
SUBTOTAL			597.48	59.75	26.89
VI	1	11.20	53.44	5.34	2.40
	2	11.00	51.06	5.11	2.30
	3	8.20	24.28	2.43	1.09
	4	17.70	170.11	17.01	7.65
	5	8.2	24.28	2.43	1.09
	6	8.9	29.88	2.99	1.34
	7	4.8	6.26	0.63	0.28
SUBTOTAL			359.31	35.93	16.17
PROMEDIO			618.50	61.85	27.83

HOJA DE TRABAJO N°3

BIOMASA DE ÁRBOLES CAIDOS MUERTOS " JUAN BERNITO "

Transecto	Número de árbol caído	Diámetro (cm.)	Longitud (m.)	Biomasa en Kg/árbol	Biomasa en t/ha	Carbono Almacenado en t/ha
I	1	9.50	1.89	53.59	5.36	2.41
	2	7.05	1.70	26.54	2.65	1.19
	3	5.75	1.04	10.80	1.08	0.49
	4	6.10	1.55	18.12	1.81	0.82
	5	5.50	1.70	16.16	1.62	0.73
	6	4.55	1.90	12.36	1.24	0.56
	7	5.50	1.16	11.02	1.10	0.50
	8	4.75	2.27	16.09	1.61	0.72
	9	3.50	2.40	9.24	0.92	0.42
SUBTOTAL				173.92	17.39	7.83
II	1	8.25	1.13	24.16	2.42	1.09
	2	10.00	0.48	15.08	1.51	0.68
	3	4.80	1.87	13.54	1.35	0.61
	4	6.75	0.93	13.31	1.33	0.60
	5	5.75	1.50	15.58	1.56	0.70
	6	7.80	2.87	54.86	5.49	2.47
	7					
	8					
	9					
SUBTOTAL				136.53	13.65	6.14
III	1	8.2	1.16	24.50	2.45	1.10
	2	5.1	2.44	19.94	1.99	0.90
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
SUBTOTAL				44.44	4.44	2.00
PROMEDIO				118.29	11.83	5.32

HOJA DE TRABAJO N°4

BIOMASA DE ÁRBOLES CAIDOS MUERTOS "FUNDO SANANGUILLO"

Transecto	Número de árbol caído	Diámetro (cm.)	Longitud (m.)	Biomasa en Kg/árbol	Biomasa en t/ha	Carbono Almacenado en t/ha
IV	1	24.55	3.55	672.17	67.22	30.25
	2	19.15	1.4	161.29	16.13	7.26
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
SUBTOTAL				833.47	83.35	37.51
V	1	24.5	0.9	169.72	16.97	7.64
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
SUBTOTAL				169.72	16.97	7.64
VI	1	22.2	1.12	173.41	17.34	7.80
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
SUBTOTAL				173.41	17.34	7.80
PROMEDIO				392.20	39.22	17.65

HOJA DE TRABAJO N°5

BIOMASA HERBÁCEA

Transecto	# de cuadrante y sub muestra	Biomasa Ab/Hb peso fresco Kg/m2	Peso fresco sub muestra (gr)	Peso seco sub muestra (gr)	Biomasa herbácea t/ha	Carbono almacenado t/ha			
I	1	1.17	PROMEDIO	PROMEDIO	4.13	2.13			
	2	1.52			5.35				
II	3	0.43			12.47	1.51	3.15		
	4	3.54							
III	5	0.39			0.32	1.37	0.38		
	6	0.09							
Promedio					250	88.07	4.19	1.89	
IV	7	2.93			PROMEDIO	PROMEDIO	9.81	2.28	
	8	0.09					0.30		
V	9	4.09					5.39	13.70	4.29
	10	1.61							
VI	11	0.03					2.04	0.10	0.48
	12	0.61							
Promedio			250	83.72			5.22	2.35	

HOJA DE TRABAJO N°06

BIOMASA DE HOJARASCA

Transecto	# de cuadrante 0.25 m2	Hojarasca peso fresco kg/0.25m ²	Peso fresco sub muestra (gr)	Peso seco sub muestra (gr)	Biomasa hojarasca t/ha	Carbono almacenado t/ha			
I	1	0.27	PROMEDIO	PROMEDIO	9.73	4.87			
	2	0.33			11.89				
II	3	0.30			13.70	10.81	5.51		
	4	0.38							
III	5	0.30			7.93	10.81	4.22		
	6	0.22							
Promedio		0.32			250.00	225.27	11.53	4.87	
IV	7	0.54			PROMEDIO	PROMEDIO	11.13	3.94	
	8	0.31					6.39		
V	9	0.27					7.42	5.57	2.92
	10	0.36							
VI	11	0.26					3.92	5.36	2.09
	12	0.19							
Promedio		0.32	250.00	128.86			6.63	2.98	

HOJA DE TRABAJO N°07

BIOMASA EN EL SUELO "JUAN BERNITO"

Volumen del Cilindro = **68,70 cc.**

Transecto	profundidad (cm)	peso fresco (gramos)	peso seco (gramos)	Densidad Aparente (gr/cc)	Peso del volumen de suelo t/ha	% CO	Carbono en el suelo (t/ha)
I	0 - 10	106.61	97.55	1.42	1419.94	1.06	14.99
	10 - 20	95.03	86.57	1.26	1260.12	0.53	6.72
	20 - 40	124.99	112.17	1.63	3265.50	0.50	16.29
	40 - 100	115.80	98.70	1.44	8620.09	0.44	37.50
SUBTOTAL							75.50
II	0 - 10	104.12	95.96	1.40	1396.80	0.96	13.37
	10 - 20	97.14	89.47	1.30	1302.33	0.75	9.74
	20 - 40	128.75	116.13	1.69	3380.79	0.55	18.43
	40 - 100	105.04	92.60	1.35	8087.34	0.42	34.24
SUBTOTAL							75.79
III	0 - 10	92.06	85.73	1.25	1247.89	1.11	13.83
	10 - 20	107.40	97.28	1.42	1416.01	0.73	10.35
	20 - 40	100.15	90.36	1.32	2630.57	0.50	13.12
	40 - 100	197.64	85.92	1.25	7503.93	0.48	35.69
SUBTOTAL							72.99
PROMEDIO							74.76

HOJA DE TRABAJO N°08

BIOMASA EN EL SUELO "FUNDO SANANGUILLO"

Volumen del Cilindro = **68,70 cc.**

Transecto	profundidad (cm)	peso fresco (gr.)	peso seco (gr.)	Densidad Aparente (gr/cc)	Peso del volumen de suelo t/ha	% CO	Carbono en el suelo (t/ha)
IV	0 - 10	119.38	96.80	1.41	1409.02	1.28	17.98
	10 - 20	111.91	89.60	1.30	1304.22	1.27	16.57
	20 - 40	116.36	97.20	1.41	2829.69	0.78	22.16
	40 - 100	102.81	81.80	1.19	7144.10	0.58	41.44
SUBTOTAL							98.15
V	0 - 10	115.00	94.40	1.37	1374.09	1.71	23.43
	10 - 20	110.11	91.10	1.33	1326.06	1.55	20.54
	20 - 40	116.33	97.00	1.41	2823.87	1.19	33.58
	40 - 100	113.46	88.60	1.29	7737.99	0.84	64.63
SUBTOTAL							142.18
VI	0 - 10	138.92	104.00	1.51	1513.83	1.66	25.20
	10 - 20	122.04	93.20	1.36	1356.62	0.96	13.06
	20 - 40	117.62	87.40	1.27	2544.40	0.89	22.73
	40 - 100	121.14	94.70	1.38	8270.74	0.53	43.66
SUBTOTAL							104.65
PROMEDIO							114.99

ANEXO N°05:

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

Numero de la muestra		pH	C.E Ds/m	CaCO3 (%)	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Laboratorio	Campo							
08 07 0814	Juan Bernito	4,17	0,05	0,00	1,35	0,06	74,95	48,80
08 07 0814	Sananguillo	5,55	0,07	0,00	3,13	0,14	31,48	333,00

ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL	CIC	CATIONES CAMBIABLES					Suma de Bases	%Sat. De Bases
Arena	Limo	Arcilla			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺		
%			meq/100								
69,12	9,28	21,60	Frc - Arc - Are	2,64	1,14	0,39	0,12		0,98	1,65	63,00
31,12	15,28	53,60	Arc	11,74	9,54	0,96	0,85		0,39	11,35	96,68

ANEXO N°06:

DATOS METEOROLÓGICOS

GRÁFICO 24: Precipitación Promedio de Enero 2006 – Julio 2008 en los Fundo

“Juan Bernito” y “Sananguillo”

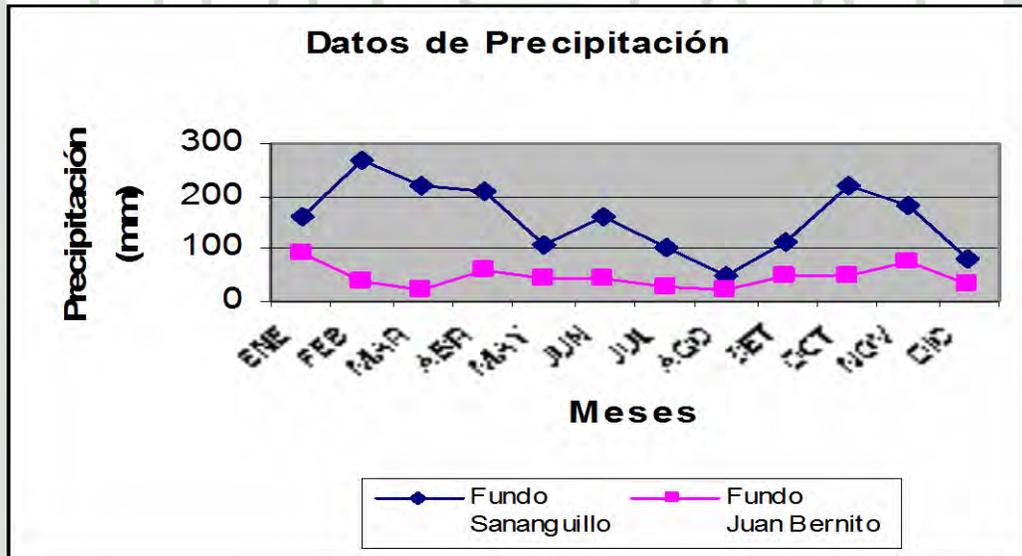


GRÁFICO 25: Temperatura Media de Enero 2006 – Julio 2008 en los Fundo

“Juan Bernito” y “Sananguillo”

