



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS:

**“DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO
CAPTURADO Y CO₂ EN LA BIOMASA AÉREA EN
SISTEMAS AGROFORESTALES, DISTRITO DE SAN
ROQUE DE CUMBAZA, PROVINCIA DE LAMAS,
REGIÓN SAN MARTÍN - 2015”**

PRESENTADO POR:

BACHILLER: ORLANDO BARDALES PINEDO

ASESOR:

Ing. M.Sc. CÉSAR ENRIQUE CHAPPA SANTA MARÍA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

TARAPOTO – PERÚ

2015

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos por el apoyo moral brindado en forma incondicional en todo el proceso del trabajo de investigación, compartiendo al mismo tiempo nuestras visiones personales.

AGRADECIMIENTO

A los agricultores como el señor Tobías Yalta Romero, Jaime Romero Rengifo, Dalvin Ruíz Sánchez y Ernesto Rengifo Saavedra, del distrito de San Roque de Cumbaza, quienes pusieron a disposición sus parcelas agroforestales para el trabajo de investigación y apoyaron en el proceso de toma de muestras en campo; además facilitaron información relacionado al proceso histórico de instalación del sus sistemas agroforestales.

Al ing. M.Sc César Enrique Chappa Santa María, mi asesor, quien con su experiencia en el tema facilitó formular un plan así como en la metodología de la investigación.

Al señor Roberto Macedo con su amplia experiencia como “matero”, por el soporte técnico en la identificación de las especies forestales.

INDICE

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice	iv
Resumen	ix
Abstract	x
	Pág.
CAPITULO I: PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Problema específico	3
1.4. Objetivo: General y Específico	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.3. Justificación	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Bases teóricas	8
2.2.1. Impacto del aprovechamiento del carbono	12
2.2.2. Almacenamiento de carbono	16
2.2.3. Sistemas agroforestales	18
2.2.4. Captura de carbono en los ecosistemas forestales	21
2.3. Hipótesis	21
2.4. Definición de términos	21
2.5. Identificación de variables	25
2.6. Definición operativa de variables e indicadores	26

	Pág.
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1. Ámbito del estudio	28
3.1.1 Social	28
3.1.2 Espacial	29
3.1.3 Temporal	31
3.2. Tipo de investigación	31
3.3. Nivel de investigación	31
3.4. Método de investigación	32
3.5. Diseño de investigación	33
3.6. Población, muestra, muestreo	34
3.6.1 Población	34
3.6.2 Muestra	34
3.6.3 Muestreo	34
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	35
3.7.1 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	35
3.7.1.1 Validez de contenido	35
3.7.1.2 Validez de predictivo	36
3.7.1.3 Validez de constructo	37
3.8. Procedimiento de recolección de datos	38
3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	40

	Pág.
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	41
4.1. Presentación de resultados	41
4.1.1 Contenido de carbono en la biomasa aérea	41
4.1.2 Contenido de carbono en biomasa herbácea y arbustiva	42
4.1.3 Contenido de carbono en hojarasca	43
4.1.4 Contenido de carbono en el suelo	44
4.1.5 Contenido total promedio de carbono	45
4.2. Discusión	48
4.2.1. Contenido de carbono en la biomasa aérea	48
4.2.2. Contenido de carbono en biomasa herbácea y arbustiva	49
4.2.3. Contenido de carbono en hojarasca	50
4.2.4. Contenido de carbono en el suelo	52
4.2.5. Contenido total promedio de carbono	53
4.3. Conclusiones	58
4.4. Recomendaciones	59
4.5. Referencia bibliográfica	61
4.6. Artículo científico	66
4.7. Anexos	74
4.7.1 Aplicación de fórmulas biométricas	74
4.7.2 Datos de campo por parcela	76
4.7.3 Procesamiento de muestras	80
4.7.4 Resultado análisis de suelo	84
4.7.5 Imágenes	86

LISTA DE CUADROS

CUADROS		Pág.
1	Definición operativa de variables e indicadores	26
2	Análisis de varianza para el contenido de carbono en la biomasa aérea en kg.ha ⁻¹	41
3	Análisis de varianza para el contenido de Carbono en la biomasa herbácea y arbustiva en kg.ha ⁻¹	42
4	Análisis de varianza para el contenido de Carbono en la hojarasca kg.ha ⁻¹	43
5	Análisis de varianza para el contenido de Carbono en el suelo en kg.ha ⁻¹ a 10 cm de profundidad.	44
6	Análisis de varianza para el Contenido total promedio de Carbono en kg.ha ⁻¹	45
7	Datos de campo tratamiento 1, Tovías Yalta Romero	76
8	Datos de campo tratamiento 2, Jaime Romero Rengifo	77
9	Datos de campo tratamiento 3. Dalvin Ruíz Sánchez	78
10	Datos de campo tratamiento 4, Ernesto Rengifo Saavedra	79
11	Sub Muestra Fresco y Seco. Tovías Yalta Romero	83
12	Por tipo de muestra	83
13	Sub muestra fresco y seco. Jaime Romero Rengifo	84
14	Por tipo de muestra	84
15	Sub muestra fresco y seco. Dalvin Ruíz Sánchez	85
16	Por tipo de muestra	85
17	Sub muestra fresco y seco. Ernesto Rengifo Saavedra	86
18	Por tipo de muestra	86
19	Resultado de análisis de suelo. Tovías Yalta Romero	87
20	Resultado análisis de suelo. Jaime Romero Rengifo	87
21	Resultado análisis de suelo. Dalvin Ruiz Sánchez	88
22	Resultado análisis de suelo. Ernesto Rengifo Saavedra	88

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO		Pág.
1	Ubicación espacial de la investigación	30
2	Diseño para evaluar biomasa arbórea y árboles muertos	34
3	Diseño para evaluar biomasa herbácea, arbustiva y hojarasca	35
4	Prueba de rangos múltiples de Duncan, para promedios de tratamientos respecto al contenido de Carbono en la biomasa aérea.	41
5	Prueba de rangos múltiples de Duncan, para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva.	42
6	Prueba de rangos múltiples de Duncan, para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la hojarasca.	43
7	Prueba de rangos múltiples de Duncan, para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en el suelo.	44
8	Prueba de rangos múltiples de Duncan, para promedio de tratamientos respecto al Contenido total de carbono en los diferentes SAFs.	45
9	Prueba de rangos múltiples de Duncan, para promedio de tratamientos respecto al Contenido total de carbono en los diferentes estratos	46
10	Contenido promedio total acumulado de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra	46
11	Contenido promedio total acumulado de CO ₂ secuestrado en los diferentes sistemas de uso de la tierra	47

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es mostrar los resultados de las evaluaciones realizadas del potencial de carbono en sistemas agroforestales SAFs ubicadas en la parte alta de sub cuenca del río Cumbaza, distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas considerando tres sistemas agroforestales y un bosque primario natural (BPM) como testigo. Los sistemas evaluados son: SAF 1, café con guaba de 20 años; SAF 2, café con sombras diversas de 21 años; SAF 3, bosque de capirona de 10 años y BPM, bosque primario natural como testigo, en ellas se evaluaron carbono en la biomasa aérea, carbono en la biomasa herbácea y arbustiva, carbono en biomasa en la hojarasca y carbono en el suelo, en un total de 16 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento.

El análisis de los datos se realizó utilizando el programa estadístico SPSS 19, el cual utiliza el P-valor como unidad de comparación para la significación estadística en el análisis de varianza a probabilidades de 0.01 (1%) y 0.05 (5%). La prueba de rangos múltiples de Duncan a una probabilidad de 0.05 (5%) para promedios de tratamientos. Las variables evaluadas: contenido de carbono en la biomasa aérea, contenido de carbono en biomasa herbácea y arbustiva, contenido de carbono en hojarasca y contenido de carbono en el suelo, se procesaron en un diseño en Bloques Completos al Azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamientos.

De los resultados se puede concluir que de los promedios totales acumulados de carbono en los diferentes sistema de uso de la tierra, el Bosque Primario Natural (T4), alcanzó el mayor contenido acumulado de carbono con $273.01 \text{ Tn-ha}^{-1}$ lo que representa 1001.05 Tn de CO_2 fijado en el sistema. Los tratamientos T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T3 (Capirona – 10 años) alcanzaron contenidos de carbono acumulado de 187.3 Tn-ha^{-1} , $184.76 \text{ Tn-ha}^{-1}$ y 79.01 Tn-ha^{-1} respectivamente, lo que representa 687.39 , 678.07 y 289.97 Tn de CO_2 fijado en el sistema respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Agroforestería, cambio climático, pago por servicios ambientales, biomasa, flujos de fijación de carbono, Transecto, efecto invernadero, captura.

ABSTRACT

The aim of this research is to show the results of the assessments made of the carbon potential in agroforestry systems AFS located in the upper part of sub basin of the Cumbaza River district of San Roque de Cumbaza, Province of Lamas considering three agroforestry systems and Natural primary forest (BPM) as a witness. The evaluated systems are: SAF 1 coffee with guaba of 20 years; SAF 2 coffee with different shades of 21; SAF 3 forest capirona of 10 years and BPM, natural primary forest as a witness in them were evaluated the carbon herbaceous and woody biomass, biomass carbon in the litter and soil carbon, carbon were evaluated in aboveground biomass in a total of 16 treatments and 3 replications per treatment.

The data analysis was performed using SPSS 19, which uses the P-value as a comparison unit for statistical significance in the analysis of variance odds of 0.01 (1%) and 0.05 (5%). The multiple range test of Duncan to a probability of 0.05 (5%) for treatment averages. The variables evaluated: carbon content in aboveground biomass, carbon content in herbaceous and woody biomass, carbon content in litter and carbon content in the soil, processed in a complete block design at random with four treatments and three repetitions by treatment.

From the results it can be concluded that the total accumulative averages of carbon in different system of land use, the Primary Forest Natural (T4) reached accumulated carbon with 273.01 the highest content Tn-ha-1 which represents 1001.05 tons of CO₂ fixed in the system. The Treatments T1 (Coffee with guaba - 20 years), T2 (Coffee with sp Maderables - 21) and T3 (Capirona - 10 years) reached carbon contents accumulated of 187.3 Tn-ha-1, 184.76 Tn-ha-1 and 79.01 Tn-ha-1 respectively, representing 687.39, 678.07 and 289.97 tons of CO₂ respectively set to the system.

KEYWORDS: Agroforestry, climate change, payment for environmental services, biomass, carbon sequestration flows, transect, greenhouse catch.

INTRODUCCIÓN

Los bosques del trópico húmedo contienen la más grande concentración de biomasa y biodiversidad de la tierra, por lo que su destrucción tiene una serie de efectos para la vida del planeta. Cuando estos bosques cambian a otros usos de la tierra, a través de la quema de su biomasa, más del 85% del carbón almacenado en la vegetación, se pierde en la atmósfera, principalmente como CO₂, siendo la causa principal la acumulación del CO₂ en la atmósfera, después de la combustión de fósiles ⁽¹⁾.

La Región San Martín, ubicada en la Selva Alta Peruana, posee una extensión de 5,251,483 Ha. y se caracteriza por su topografía fuertemente accidentada, suelos ácidos (aproximadamente 75%), con agricultura y ganadería de subsistencia. Según la capacidad de uso mayor 198,434 Ha (3.83%) son tierras apta para cultivos en limpio (A), 415,853 Ha (8.03%) para cultivos permanentes (C), 83,851 Ha (1.62%) para pastos (P), 825,982 ha (15.95%) tierras de producción forestal (F), y 3,619,876 Ha (69.89%) tierras de protección (X) y 35646 Ha (0.69%) como cuerpos de agua, haciendo un total de 5,179,642 Ha⁽²⁾. De la extensión total, solamente 614,293 Ha. son aptas para las actividades agrícolas. De los 728,808 habitantes que tiene la región, 91, 224 (42%) se dedican a la agricultura y producen un volumen total de 2,087,559 TM. de alimentos por año ^(3,4).

La Región San Martín, es la región del Perú con mayor área deforestada (1 millón 400 mil hectáreas de tierras erosionadas) ⁽⁵⁾, las mismas que se encuentran mayormente ubicadas en laderas con pendientes entre 10 y 30 por ciento en las que se practican la agricultura migratoria y los sistemas productivos basados en monocultivos temporales de baja rentabilidad y sostenibilidad.

El cambio de uso de la tierra y las actividades forestales han sido, y son actualmente, fuentes netas de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Sin embargo, con un manejo adecuado, 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.

El sistema de corte y quema o agricultura migratoria es el sistema predominante en los trópicos húmedos del Perú y otros países de la Amazonía. Este sistema consiste en la tumba de un bosque ya sea primario o secundario para la siembra de cultivos y posterior abandono en barbecho por un tiempo variable para volver nuevamente con cultivos. Este sistema de uso tradicional de la tierra pierde muy rápido su productividad debido al deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Además es el sistema que causa mayor deforestación ^(5,6).

Dentro de este esquema actual, el pago por servicios ecosistémicos por captura o almacenamiento de carbono que los bosques de la Amazonía peruana proveen al medio ambiente, es considerado una promisoría como activo para el desarrollo de los pueblos y comunidades amazónicas que en su mayoría se encuentran en extrema pobreza.

El objetivo de la presente investigación es mostrar los resultados de las evaluaciones realizadas del potencial de carbono en sistemas agroforestales SAFs y bosque primario natural, ubicadas en la parte alta de sub cuenca del río Cumbaza, considerada como zona de amortiguamiento del Área de Conservación Regional “Cordillera Escalera”, ámbito del distrito de San Roque de Cumbaza, considerando tres sistemas agroforestales y un bosque primario natural como testigo. Información que pretende contribuir con información técnica para la formulación de proyectos, pago por servicios ecosistémicos, en los marcos de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, propuesto en el protocolo de Kyoto, así como para la toma de decisiones de políticas relacionadas al desarrollo sostenible de la sub cuenca.

Capítulo I: Problema

1.1. Planteamiento del Problema

El cambio climático representa una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido al gran impacto negativo que está causando en la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía mundial, los recursos naturales y la infraestructura física. Este fenómeno reflejado en el calentamiento global, es causado por el aumento en las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), especialmente del dióxido de Carbono (CO_2), gran parte del cual proviene del cambio en el uso de la tierra, la deforestación en zonas tropicales, el uso de combustibles fósiles y la producción de cemento en países desarrollados.

El cambio de uso de la tierra y las actividades forestales han sido, y son actualmente, fuentes netas de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Sin embargo, con un manejo adecuado, 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.

Con la aprobación del Protocolo de Kyoto en 1997, durante la III Conferencia de las Partes (COP-3), se establecieron los mecanismos que facilitan a los países comprometidos ante la UNFCCC¹ (también conocidos como partes del anexo I) alcanzar sus metas de reducción hasta el año 2012, despertándose un gran interés sobre el potencial de los sistemas agroforestales – SAFs, en la fijación y almacenamiento de Carbono.

“La Región San Martín posee una gran diversidad biológica, sin embargo, también es conocida por ser la más deforestada. No por nada la economía regional cada vez es más golpeada por los efectos del cambio climático. La degradación de los suelos agrícolas pone en peligro el desarrollo de cultivos como el del maíz amarillo duro, el café, el arroz y actualmente el cacao, que en su mayoría tienen como destino final el mercado internacional.

Una de las principales fuentes de agua de la provincia de San Martín, es la sub cuenca del río Cumbaza, donde se encuentran ubicados los distritos de San Antonio de Cumbaza y San Roque de Cumbaza, con presencia de comunidades nativas, cuya principal actividad es la agricultura de subsistencia y migratoria, poniendo en riesgo la esponja hídrica que garantiza esta fuente de agua. Por otro lado las partes altas de esta sub cuenca vienen siendo invadidas para la siembra de café, especialmente por migrantes; por lo que las comunidades vienen organizándose en comités o brigadas ambientales locales con la finalidad de vigilar sus recursos, hecho que viene creando conflictos sociales en la población. Las escasas propuestas de desarrollo sostenible diseñadas acorde a la realidad local, hace que la presión al bosque forestal y de protección, sigue siendo evidente. Por lo que es necesario realizar estudios de valoración de captura de carbono en pequeñas parcelas de familias de agricultores que realizaron experiencias de sistemas agroforestales, de tal manera poder plantear un nuevo desafío en el desarrollo de esta zona a partir de los servicios ambientales del bosque.

1.2. Formulación del Problema

¿En qué medida el contenido de carbono capturado en la biomasa aérea en los sistemas agroforestales del Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín – 2015, contribuye a la solución de la concentración de CO₂ en la atmósfera?

1.3. Problemas específicos

- 1.3.2.1. Desconocimiento del potencial de captura de carbono en Sistemas Agroforestales, Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín
- 1.3.2.2. Limitado conocimiento del contenido de carbono capturado en Sistemas Agroforestales, Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín.
- 1.3.2.3. Desconocimiento del potencial de captura de carbono en los estratos de los Sistemas Agroforestales, Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín.

1.4. Objetivo: General y Específicos

1.4.1 Objetivo General

Determinar el contenido de carbono capturado y CO₂ en la biomasa aérea en Sistemas Agroforestales, Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín - 2015.

1.4.2 Objetivos Específicos

- 1.4.2.1 Identificar los sistemas agroforestales con mayor potencial de captura de carbono, Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín - 2015.
- 1.4.2.2 Determinar el contenido de carbono y CO₂ capturado en sistemas agroforestales, Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín - 2015.
- 1.4.2.3 Comparar el contenido de carbono en cada estrato del sistema agroforestal, Distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín - 2015.

1.5. Justificación

La región San Martín creada con el Decreto Ley 25666, del 17 de agosto de 1992, con una superficie aproximada de 51,253.31 km²; de las cuales se estima que existen alrededor de 1,6 millones de hectáreas (30% de la región) de bosques primarios que han sido deforestados en los últimos 50 años. Este alto nivel de intervención de los bosques contrasta con la reciente ZEE que señala que sólo el 15% del territorio tiene vocación productiva agropecuaria y silvicultural. Los efectos de la deforestación acelerada, el cambio de uso de la tierra, las malas prácticas agropecuarias y la degradación de tierras en la región y muy en especial en el distrito de San Roque de Cumbaza, viene causando problemas ambientales y sociales que se manifiestan en el desabastecimiento de agua, la erosión acelerada de suelos, la pérdida de diversidad genética, niveles crecientes de contaminación del aire y efectos del cambio climático, iniciándose un proceso de deterioro de calidad de vida de la población.

En los ecosistemas del Área de Conservación Regional – Cordillera Escalera – ACR CE, que son mayormente bosques nublados, se generan cinco cuencas hidrográficas tributarias de los ríos mayo y Huallaga. Estas cuencas representan el “**banco de agua**” que tienen como área de escurrimiento aproximadamente 150,000 hectáreas. En la actualidad se estima que 186,725 habitantes, distribuidos en 95 centros poblados, dependen de las aguas que se originan en la Cordillera Escalera con una demanda de 26,828 m³.día⁻¹ de agua limpia y fresca para consumo doméstico, siendo las ciudades de Tarapoto, Banda de Shilcayo y Lamas las que mayor demanda del recurso hídrico exigen, principalmente para el consumo humano.

De las cinco cuencas que nacen en el **ACR CE**, la cuenca del río Cumbaza, que nace en el flanco occidental y discurre sobre su zona de amortiguamiento, tiene especial importancia por la creciente escasez y degradación de los recursos hídricos para diferentes usos, situación que se agrava en las épocas de estiaje. Esta cuenca se encuentra ubicada en el sector noroccidental del Perú, en la región San Martín, entre

las provincias de Lamas y San Martín, cubre un área aproximada de 57,120 ha, representando el 1.14% de la extensión total de la región San Martín. La red hidrológica está constituida por el río Cumbaza, como eje principal, siendo sus afluentes principales por la margen izquierda los ríos Cachiyacu, Shilcayo, Ahuashiyacu y por la margen derecha la quebrada de Shupishiña.

Estas microcuencas son las proveedoras de agua para atender la demanda de múltiples usos de una población ascendente a 129,306 habitantes urbanos, atendidos por EMAPA-San Martín y tres (03) Comités de Regantes en la margen izquierda. De acuerdo a la Zonificación Ecológica y Económica de la cuenca del río Cumbaza, el área presenta la mayor superficie de tierras degradadas ascendentes a 1,296 has, cuya deforestación ha contribuido a generar el problema que se enfrenta la disminución de la oferta hídrica y por ende de su calidad. Las relaciones con la demanda son ventajosas por la accesibilidad y proximidad al centro urbano más importante de San Martín que es Tarapoto, el mismo que cuenta con una población de 149,875 habitantes y es la capital comercial para productos agropecuarios y otros bienes y servicios.

La determinación del contenido de carbono capturado y CO₂, en sistemas agroforestales en el distrito de San Roque de Cumbaza permitirá definir el sistema de uso de la tierra más apropiada para dichas condiciones edafoclimáticas, de tal manera poder difundir determinado sistema agroforestal, en función a la ZEE, rediseñando así un modelo económico sostenible en armonía con el ambiente.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Antecedentes

La Universidad de la Selva Alta de Tingo María – Huánuco - Perú, cuantificó las reservas totales de carbono en el sistema agroforestal (SAF) del Banco de Germoplasma de Cacao en la UNAS Tingo María, utilizando la metodología estandarizada por ICRAF, determinó que la relación entre la fijación de CO₂ atmosférico y la transformación en carbono orgánico para la producción de biomasa en las plantas fotosintetizadoras es de 27.30%, en consecuencia, al carbono orgánico almacenado en la biomasa vegetal del SAF, calculado en 94.383 tC/ha, le corresponde un volumen de 345.73 toneladas de CO₂ por hectárea; es decir, en las 121,818.08 hectáreas de SAFs, las plantas estarían fijando un volumen total de 42'116,164.80 toneladas de CO₂ atmosférico como emisiones evitadas ⁽⁷⁾.

En otro estudio determinaron la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en la región de San Martín-Perú, con la finalidad de conocer el potencial de captura de carbono. Los sistemas de uso de la tierra evaluados fueron: Bosque primario, Bosque secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas locales maíz (*Zea maíz*), arroz (*Oriza Sativa*), pastos (*Brachiaria*) y sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) bajo sombra y cacao (*Cacao* sp.). También se comparó este potencial con otros sistemas de uso de la tierra de otras regiones del Perú y se monitoreó la pérdida de reservas de carbono después del corte de la foresta y su reemplazo por cultivos. En cada uno de éstos sistemas se establecieron al azar cinco transectos donde se evaluó la biomasa arbórea.

Dentro de éstos transectos se establecieron cuadrados también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. El carbono total en el bosque primario fue de 485 tm C ha⁻¹, superando ampliamente las reservas del bosque secundario de 50 años y de bosques descremado de 20 años. Con relación al bosque primario se observa una reducción de reservas en más de 50% del bosque secundario de 50 años (234 tm C ha⁻¹). El bosque descremado de 20 años perdió más del 80% de reservas (62 tm C ha⁻¹). El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Los sistemas agroforestales secuestraron entre 19 a 47 tm C ha⁻¹, dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo y recuperan el potencial de captura en forma productiva. Los sistemas agrícolas capturaron poco C (5 tm C ha⁻¹), además generan fugas de gases efecto invernadero (GEI) cuando se usan agroquímicos y quema de rastrojos, entre otros ⁽⁸⁾.

Así mismo realizaron un estudio de la cuantificación de carbono secuestrado por algunos SAF'S y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú, en donde evaluaron los volúmenes de carbono secuestrado en seis tratamientos , sistemas agroforestales y/o sistemas de uso de tierra: bosque primario, bosque secundario, café bajo sombra, silvopastura, pastura y huerto casero en tres variantes ecológicas (repeticiones) fragmentado el muestreo en: biomasa arbórea, biomasa herbácea, hojarasca, varios estratos de suelo ⁽⁹⁾.

Un informe sobre las Reservas de C con diferentes sistemas de uso de la tierra en Yurimaguas y Pucallpa, Perú, muestran las reservas de carbono (C) total en la biomasa y en el suelo, mientras los niveles de C en el suelo permanecieron relativamente estables cuando la tierra fue convertida de foresta para otros usos, las reservas de C en la biomasa aérea es considerablemente reducida. La foresta y los barbechos antiguos tuvieron los contenidos más altos de C en ambos sitios. El barbecho natural comparado

con los barbechos de ciclo corto aumentó ligeramente el contenido de C con el tiempo. El nivel de C de la biomasa en todos los sistemas manejados fue 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 Tn.ha⁻¹ para la plantación de Amburana hasta 99 Tn.ha⁻¹ para la plantación de Marupa. Los huertos familiares tuvieron 85 Tn.ha⁻¹ vs. 53 Tn.ha⁻¹ plantaciones de cacao – Pucallpa ⁽¹⁰⁾.

En el sistema agroforestal de Yurimaguas estos valores fueron bajos para los barbechos cortos y aumentan ligeramente cuando se combinan con especies arbóreas de rápido crecimiento como Inga con las coberturas con centrocema que almacenaron 33 Tn.ha⁻¹ en 3 años y solo 9 Tn.ha⁻¹ con un bosque secundario natural de la misma edad ⁽¹⁰⁾.

2.2 Bases Teóricas

A fines de los años 70's el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y luego la Sociedad Mundial de Meteorología (SMM), alertaron sobre una drástica variación climática a nivel mundial (UNEP y GMS, 1992), como consecuencia de la gradual y creciente acumulación de gases de invernadero (GEI) en la atmósfera, provenientes fundamentalmente de la masiva deforestación y de la actividad industrial ⁽⁹⁾.

La Convención Marco de las Naciones Unidas, sobre el Cambio Climático (CMNUC), se estableció en 1992, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), en Río de Janeiro, Brasil. Su principal objetivo fue *“estabilizar la concentración de gases de efecto de invernadero a un nivel que permita impedir interferencias antropógenas peligrosas con el sistema climático”* ⁽¹¹⁾.

Luego de su evaluación en 1995 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC) concluyó que las crecientes concentraciones atmosféricas de los principales gases de efecto de invernadero (GEI), podrían producir un

aumento en la temperatura mundial y otros cambios en el medio ambiente (IPCC, 1995). Sobre la base de los datos y la información disponibles en relación con las estimaciones anuales medidas de emisiones de GEI para el periodo 1980-90, el GEICC proyectó que las emisiones de GEI podrían conducir a un aumento de 1 a 35 °C en las temperaturas media mundiales para el año 2100, un aumento superior a las variaciones totales de temperaturas registradas en el mundo en los últimos 10,000 años ⁽¹¹⁾.

Las emisiones de GEIs, especialmente de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, se producen debido a actividades humanas en el sector energético, cambio en el uso de tierras y el sector forestal, así como por la actividad industrial y la gestión de desechos (UNEP y GMS, 1992). El informe del GIECC estima que el último decenio, las emisiones antropógenas alcanzaron un total de $7,1 \pm 1,1$, Gt C por año. Las emisiones netas de estos gases producidas por cambios en el uso de tierras y la actividad forestal se estiman en de $1,6 \pm 1,1$, Gt C por año, procedentes principalmente de las latitudes inferiores. Este sector tiene potencial para liberar grandes cantidades ya que hay alrededor 1,000 Gt C (Gt C equivalente a 1000 millones de toneladas métricas de carbono, equivalente a 3670 millones de toneladas de CO₂) almacenado en los bosques del mundo ⁽¹²⁾.

EL EFECTO INVERNADERO Y EL CLIMA

El aumento de la temperatura media global que se viene constatando en este siglo y que continuaría en los próximos decenios, preocupa al mundo científico y genera inquietudes en los más diversos ámbitos. El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como se desprende ya del aumento observado del promedio mundial de temperatura del aire y del océano, de la fusión generalizada de nieves y hielos, y del aumento del promedio mundial del nivel del mar ⁽¹³⁾.

El hecho en sí no merecería mayor atención, sino fuera por las eventuales consecuencias sobre el clima. Y a partir de éstas sobre la producción de alimentos, la salubridad mundial, la economía en general y aún las presiones migratorias. Debido a la incertidumbre sobre el alcance de tales efectos que podrían adquirir proporciones apocalípticas, los esfuerzos se dirigen actualmente a inferir la localización, la cronología y la intensidad probable de los cambios climáticos. Esto es necesario a fin de guiar las decisiones políticas adecuadas para evitar, mitigar o paliar de alguna manera sus consecuencias negativas. Las observaciones obtenidas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos evidencian que muchos sistemas naturales están siendo afectados por los cambios climáticos regionales y, particularmente, por el aumento de la temperatura ⁽¹³⁾.

Esta realidad hace reflexionar en la necesidad de desarrollar una metodología basada en fundamentos científicos para contabilizar con precisión el carbono almacenado en diferentes Sistemas de Usos de la Tierra. Las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O en la atmósfera mundial han aumentado considerablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y en la actualidad exceden con mucho de los valores preindustriales determinados mediante el análisis de núcleos de hielo acumulados durante miles de años. En el 2005, las concentraciones de CO₂ y CH₄ en la atmósfera excedieron considerablemente del intervalo de valores naturales de los últimos 650.000 años. El aumento mundial de las concentraciones de CO₂ se debe principalmente al uso de combustibles de origen fósil, con una aportación menor, aunque perceptible, de los cambios de uso de la tierra. Es muy probable que el aumento observado de la concentración de CH₄ se deba predominantemente a la agricultura y al uso de combustibles fósiles. El aumento de la concentración de N₂O se debe principalmente a las actividades agrícolas ⁽¹³⁾.

EFFECTOS REGIONALES

En tierra, la mayor temperatura acelerará la desecación, el menos en las regiones donde no se dé más nubosidad o lluvias. El aumento del CO₂ atmosférico, puede compensar en parte esa reducción. Junto con la mayor disponibilidad de agua dulce para riego permitirá la producción de alimentos en tierra. Los modelos muestran mayor calentamiento en las zonas frías que en las tropicales (5°C y 1°C). Como resultado, al haber menores diferencias de temperatura disminuirán las tormentas huracanadas. Esa tendencia ya se ha comprobado en el Atlántico Norte y parecería también en el Caribe. La impresión del público puede ser otra por el aumento de población y de comunicaciones en los últimos 50 años ⁽¹³⁾.

Aunque se logre un incremento pronunciado en la eficiencia del uso de los recursos para la producción de ambos insumos, aumentará la difusión de gases de invernadero, particularmente CO₂ y N₂O. Proseguirá la deforestación, quizás a mayor ritmo que el actual y las tierras agotadas se perderán. No hay dudas sobre la influencia de las selvas en el clima y como reservas de carbono y fijadoras de CO₂. El aumento de cultivos de arroz y el incremento de los rebaños de rumiantes contribuirán al aumento del CH₄ en la atmósfera. El uso de fertilizantes nitrogenados y la rotación del cultivo de leguminosos para mantener la productividad de la tierra contribuirán al aumento del N₂O ⁽¹⁴⁾.

En América Latina los impactos proyectados estaría relacionados que hasta mediados del siglo, los aumentos de temperatura y las correspondientes disminuciones de la humedad del suelo originarían una sustitución gradual de los bosques tropicales por las sabanas en el este de la Amazonia. La vegetación semiárida iría siendo sustituida por vegetación de tierras áridas. Podrían experimentarse pérdidas de diversidad biológica importantes con la extinción de especies en muchas áreas de la América Latina tropical. La productividad de algunos cultivos importantes disminuiría, y con ella la productividad

pecuaria, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. En las zonas templadas mejoraría el rendimiento de los cultivos de haba de soja. En conjunto, aumentaría el número de personas amenazadas por el hambre (RT; *grado de confianza medio*). Los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente a la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico ⁽¹³⁾.

2.2.1 Impacto del aprovechamiento del carbono

Los índices generales actuales de deforestación y emisiones de carbono son dudosos. Particularmente, no existe un buen conocimiento de la dinámica de cambio de uso de la tierra al nivel de paisaje. La regeneración forestal y la dinámica, crecimiento de bosques secundarios y crecimiento de tierras abandonadas y procesos de degradación de bosques a nivel de biomasa no han sido bien analizados ni documentados. El mejoramiento en la precisión de estas estimaciones sigue siendo uno de los retos y esfuerzos más urgentes en la investigación forestal y cambio de uso de la tierra ⁽¹⁵⁾.

Aproximadamente 42% del total de deforestación ocurre en América Latina, 31% en África y 27% en Asia. Viendo el lado positivo durante la última década ha habido un incremento grande en las áreas destinadas a plantaciones en el trópico. Antes de 1990 existían 61.3 millones de ha bajo plantaciones, el índice de establecimiento alcanza 3.2 millones de hectáreas por año ⁽¹⁵⁾.

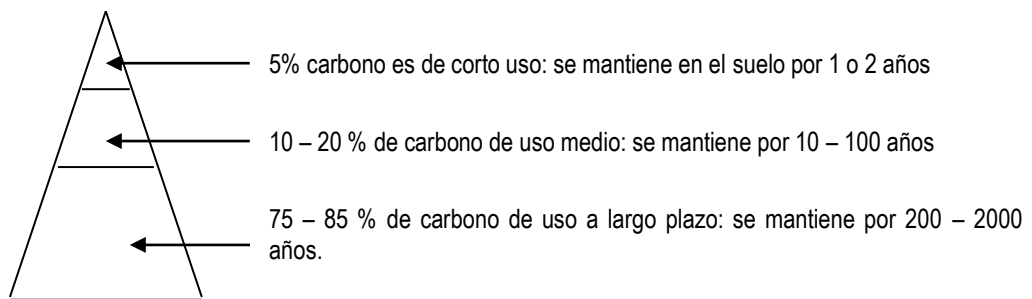
Una forma de mitigar los efectos de CO₂ además de reducir las emisiones, es "secuestrarlo", o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos. En el primero; esto se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Los bosques son el principal sumidero de CO₂, sin embargo una hectárea de agroforestería puede secuestrar 95 mg C, además de

proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten 5 -20 ha ⁽¹⁶⁾.

Los gases que provocan cambios en el clima, son los mismos que actúan como gases de efecto invernadero (GEI) siendo la razón de preocupación de muchos países debido a los problemas que producen, por tal motivo se han llevado a cabo una serie de acuerdos y convenciones en distintos países, con el objetivo de buscar soluciones conjuntas al problema. Se ha determinado que el dióxido de carbono (CO₂) es el principal GEI, siendo los factores más importantes la producción de combustibles fósiles, en segundo lugar el cambio en el uso del suelo y en tercer lugar los procesos de la industria del cemento. La deforestación y la degradación del recurso forestal han sido muy importantes en las últimas décadas. La tasa de deforestación, no se conoce con precisión y las estimaciones oscilan entre 370 y 670 mil ha año⁻¹ para principios de los 90's en bosques templados y selvas ⁽¹⁷⁾.

Por otro lado, afirman que probablemente la tasa alta sea la correcta. De acuerdo con esta última estimación se tiene que para los bosques templados la tasa de deforestación es de 1% y para las selvas un 2% al año. Las causas que más impacto tienen en la deforestación son el cambio en el uso del suelo, conversión a praderas y a cultivos agrícolas, así como los incendios forestales y la tala irracional. Los bosques tienen la posibilidad de mitigar los GEI por medio de la captura de carbono que se realiza en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumideros, a pesar de ser, actualmente, fuentes netas de emisión de GEI. En efecto, la vegetación asimila dióxido de carbono atmosférico, por medio del proceso fotosintético. Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida. ⁽¹⁸⁾.

Los bosques almacenan una importante cantidad de carbono, tanto al nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de CO₂ entre la biosfera y la atmósfera. Estos ecosistemas funcionan como sumideros si capturan CO₂ y lo convierten en carbohidratos (mediante el proceso de la fotosíntesis), o como una fuente emisora de CO si es liberado a la atmósfera a través de su quema. Cuando intervenimos en un bosque (cortando árboles, plantación o agricultura) cambiamos la proporción del carbono en el suelo. Revertimos la pirámide. En un suelo así: 75 % se cambian a carbono de corto uso y solamente el 5% del carbono se mantienen por un largo plazo ⁽¹⁹⁾.



El carbono es un hecho viviente en nuestro sistema, y consecuentemente una parte viviente de la biosfera, el ciclo del carbono rota en alrededor de 10 mil años. Este ciclo consiste en que los árboles crecen, fijan el carbono, luego mueren y el carbono vuelve a la atmósfera. En la amazonia al cortar los árboles estamos liberando carbono a la atmósfera y si plantamos la misma cantidad vamos a fijar la misma cantidad de carbono ⁽²⁰⁾.

Las plantas a través de las hojas toman el CO₂ y luz solar, produciendo azúcares sólidos. Cuando la materia muere, estos azúcares se descomponen. En el proceso la materia se oxida liberando CO₂, o sea los azúcares sólidos se cambian a CO₂. Esta oxidación sale a la atmósfera constituyendo el ciclo del carbono ⁽²⁰⁾.

También se menciona que, en el suelo el carbono está almacenado como parte de la materia orgánica y representa más de 1400 Gt (1Gt =10¹⁵ g), casi el doble del que hay en la atmósfera. El carbono en el suelo necesita ser medido hasta una profundidad de 10 cm, ya que el cambio de uso de la tierra tiene un mayor efecto en los estratos superiores. Los contenidos de carbono en el suelo dependen de factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados por cambios en el uso y manejo de la tierra ⁽²¹⁾.

También se reporta que, los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres. Contienen cuatro veces la cantidad de carbono que la vegetación. Por eso merecen atención cuando se buscan mecanismos del secuestro de carbono. Aumentar el nivel de C en el suelo podría ser un servicio ambiental precioso. El carbono del suelo se encuentra en la hojarasca, en el sistema radicular vivo y muerto, y el “carbono negro”. En promedio, las moléculas orgánicas son mineralizadas en cuatro años; una parte de ellas es extremadamente recalcitrante y su tasa de mineralización es baja. La edad de esta fracción de la materia orgánica, ligada a óxidos y arcillas, es de algunos cientos a miles de años. Es necesario entender los procesos claves en el suelo y su relación con otros factores como la temperatura, la humedad del suelo, y los nutrientes (particularmente nitrógenos) ⁽²²⁾.

2.2.2 Almacenamiento de carbono

Según reporte de la FAO (sin publicar), citado por Ciesla (1996), los bosques representan el 25% de la superficie terrestre y se ha calculado que contienen más del 80% del carbono presente sobre la superficie terrestre y aproximadamente el 40% de todo el carbono existente en el subsuelo (suelo, desperdicio y raíces), lo cual equivale a casi 1,146 GtC (Giga tonelada). De este total, los bosques tropicales de baja latitud cuentan con aproximadamente el 37%, seguido de los bosques templados de latitud media con un 14% y por último los bosques de alta latitud con un 49% ⁽²³⁾

Los árboles actúan como almacenadores al absorber el CO₂, por consiguiente liberando oxígeno (O₂) y reteniendo el carbono en la biomasa, principalmente en forma de madera. La madera contiene un 48% en forma de lignina y celulosa; para almacenar una tonelada de carbono es necesario producir 2.2 toneladas de madera (FWPRDC, 1996). Al quemarse esta (la madera) el proceso se revierte usando O₂ del aire y carbono almacenado en la madera para liberar al final CO₂. Los bosques pueden ser tanto almacenadores como fuentes de carbono, esto dependiendo de cómo y con qué propósito sean manejados y como sean utilizados sus productos ⁽²⁴⁾.

Se indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque. Destacan los bosques siempre verdes adultos, donde el carbono total alcanza 606,80 MgC/ha, con la siguiente distribución: 283,75 MgC/ha. en la biomasa aérea; 79,92 MgC/ha. en raíces (diámetro >5 mm); 2,79 MgC/ha. en el sotobosque; 53,56 MgC/ha. en la necromasa; 5,87 MgC/ha. en la hojarasca; y 180,91 MgC/ha. en los primeros 30 cm de suelo. El carbono acumulado en los suelos supera en todos los casos estudiados 140 MgC/ha, tomando en cuenta que se consideraron los primeros 30 centímetros de profundidad de suelo ya que aunque se encuentra materia orgánica hasta los 120

cm se estima que los cambios que se puedan producir más allá de los 30 cm no son significativos ⁽²⁵⁾.

Los principales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. De igual manera, el suelo juega un papel muy importante en el ciclaje y almacén del carbono en estos ecosistemas y tiene una gran capacidad de "secuestrar" C ya que puede acumularlo por miles de años ⁽²⁵⁾. Los principales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. De igual manera, el suelo juega un papel muy importante en el ciclaje y almacén del carbono en estos ecosistemas y tiene una gran capacidad de "secuestrar" C ya que puede acumularlo por miles de años ⁽²⁵⁾. Los principales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. De igual manera, el suelo juega un papel muy importante en el ciclaje y almacén del carbono en estos ecosistemas y tiene una gran capacidad de "secuestrar" C ya que puede acumularlo por miles de años ⁽²⁵⁾.

Dado este entendimiento, es posible manejar los bosques de manera que fijen y conserven sosteniblemente carbono en el suelo, pero no solo estos son capaces de capturar carbono. En nuestro medio, en el cual ha habido ya una elevada intervención humana en los bosques, cuyas áreas vienen siendo utilizadas actualmente para diversos cultivos, resulta interesante evaluar los niveles de fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cultivo para conocer su grado de eficiencia y poder valorar mejor su contribución no solo en la producción de alimentos, sino también como agente activo para disminuir los niveles de carbono en la atmósfera, actuando benigneamente a favor de la conservación ambiental. Uno de éstos y que viene actualmente incrementándose, sin lugar a dudas es el café, cuya tendencia al manejo orgánico, estimula más que nunca a los productores a buscar el mayor grado de armonía con la naturaleza, hecho favorable para que estos puedan desempeñar cada vez más una labor importante en la captura y almacenamiento del carbono atmosférico ⁽²⁵⁾.

2.2.3 Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales se pueden definir como una serie de tecnologías del uso de la tierra, en la que se combinan árboles con cultivos y/o pastos, en función del tiempo y espacio, para incrementar y/o optimizar la producción en forma sostenida. Hablamos de árboles asociados a cultivos agrícolas (sistemas Agroforestales) árboles asociados a las pasturas (sistemas Silvo-pastoriles) y árboles asociados con fines de restitución de la vegetación (sistemas Agroforestales secuenciales). El principio radica esencialmente en que el árbol, asociado a determinado cultivo o crianza, contribuye al mejoramiento o conservación de la fertilidad de los suelos y del micro clima, además de brindar otros aportes económicos y ecológicos al medio ambiente, la semejanza al sistema ecológico del bosque, hace que los sistemas sean más adaptados a la ecología que los sistemas de producción a campo abierto ⁽²⁶⁾.

En la agroforestería se combinan las actividades tradicionales de la agricultura y la ganadería, con la actividad silvícola. Los principios que permiten efectuar esta combinación son:

- ♦ Sostenibilidad de la producción.
- ♦ Aplicabilidad de las sinergias naturales de las especies vegetales
- ♦ La utilidad de las simbiosis entre especies
- ♦ En la naturaleza predominan la interacción y convivencia de diferentes especies en una misma área.

Lo anterior permite establecer que el objetivo principal de la agroforestería es el manejo integrado de especies forestales como forma de uso del suelo, donde existe la interacción ecológica y productiva con la combinación de especies agrícolas y/o animales, de manera simultánea en una misma unidad de terreno, lo cual trae consigo beneficios como:

- ♦ Generar biodiversidad en las unidades productivas rurales.
- ♦ Diversificar la producción.
- ♦ Disminuir los riesgos de los monocultivos.
- ♦ Favorecer el desarrollo de las diferentes especies productivas mediante la utilidad de bienes y servicios de otras.
- ♦ Aumentar las posibilidades socio-económicas de las poblaciones rurales.
- ♦ Integrar el conocimiento tradicional con las técnicas agrícolas desarrolladas.
- ♦ Conservar los suelos.
- ♦ Mitigar parte de los efectos perjudiciales de factores climáticos como la radiación solar, la lluvia, el viento.

La combinación de cultivos, árboles y/o animales da paso a una serie de interacciones complementarias y competitivas. Entre las actividades

complementarias se encuentran el reciclaje de nutrientes, protección contra factores climáticos adversos, aislamientos naturales de animales de pastoreo y sombrío. Las competitivas (antagonismo) incluyen, el parasitismo, las alelopatías, el comensalismo y las competencias por espacio como luz, agua, suelo y nutrientes ⁽²⁷⁾.

La combinación de las distintas actividades, tomando en cuenta su funcionalidad, estructura y situaciones socio-económicas permite clasificar estos sistemas agroforestales. Las distintas actividades agroforestales, ofrecen soluciones a corto, mediano y largo plazo. Con este tipo de esquema de productividad pueden generarse cambios en el uso de los suelos, de manera que en zonas de fuerte pendiente se recupera la cobertura vegetal permanente y se conserva los suelos frente a los fenómenos erosivos, por el arrastre de los suelos ⁽²⁷⁾.

Las unidades agroforestales permiten responder a situaciones, problemas de la cotidianidad rural, como la necesidad de la leña, proteínas animales, fuertes vientos, ausencia de sombras para animales y cultivos, insostenibilidad de la agricultura de alta montaña, baja seguridad alimentaria, inadecuada delineación de las propiedades, escasez de madera, praderas deterioradas, bajo nivel de ingresos y ocupación de la unidad familiar.

Algunos de los sistemas agroforestales implementados en la región son:

- ♦ Asociación de café con especies forestales.
- ♦ Asociación de cítricos con café.
- ♦ Asociación de café con caucho.
- ♦ Asociación de café con leucaena.
- ♦ Asociación de frijol con maíz y especies forestales.

⁽²⁸⁾.

En el estudio de investigación, el “Matero” formó parte del equipo clave para la toma de datos en campo, como especialista en la identificación de especies forestales y especies maderables diferentes a la madera.

2.2.4 Captura de carbono en los ecosistemas forestales

La dinámica del carbono en los ecosistemas forestales es muy compleja, por lo que, para hacer una estimación de los cambios en el almacenamiento de carbono, es necesario analizar la cantidad de carbono en los distintos componentes que integran los ecosistemas y las transferencias de carbono entre ellos en el tiempo y el espacio. Esto implica analizar conjuntamente la dinámica del carbono en: vegetación (aérea y subterránea), suelo (incluyendo materia en descomposición) y productos forestales. Para obtener la dinámica temporal de la captura de carbono es necesario utilizar modelos de simulación ⁽²⁹⁾.

2.3 Hipótesis

El contenido de carbono capturado en la biomasa aérea en los sistemas agroforestales del Distrito de San Roque de Cumbaza, contribuirán en con un alto potencial ambiental a la concentración de CO₂ en la atmósfera.

2.4 Definición de términos

Carbono: es el elemento básico para la vida. Todas las moléculas biológicas importantes, con la excepción del agua, contienen carbono. Su número atómico es 6, contiene en su núcleo seis protones mientras seis electrones orbitan a su alrededor. Existen tres núcleos distintos de carbono, tres isótopos. El más común se llama carbono-12 y posee seis neutrones. El carbono-13 tiene siete neutrones en el núcleo y, aunque muy poco abundante, gracias a él se puede determinar la estructura de las moléculas o se realizan pruebas diagnósticas. Finalmente, el carbono-14 es radiactivo, se descompone, y se emplea en la datación arqueológica de restos orgánicos ⁽³⁰⁾.

CO₂: el dióxido de carbono (CO₂) es el más importante de los gases menores, involucrado en un complejo ciclo global. Se libera desde el interior de la Tierra a través de fenómenos tectónicos, vulcanismo y a través de la respiración, procesos de suelos, combustión de compuestos con carbono y la evaporación oceánica.

Por otro lado es disuelto en los océanos y consumido en procesos fotosintéticos. En la actualidad su concentración ya superó las 400 ppmv (partes por millón volumen) y el máximo histórico sigue subiendo año tras año, producto de la acción antropogénicas: quema de combustibles fósiles y materia orgánica en general y procesos industriales como la fabricación de cemento ⁽³¹⁾.

Biomasa: *es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica* ⁽³²⁾.

SAFs: son una forma de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales, especies leñosas (árboles y arbustos), son utilizados en asociación debidamente con cultivos agrícolas y animales, en un arreglo espacial o cronológico en rotación con ambos; existen interacciones ecológicas y económicas entre los árboles y otros componentes de manera simultánea o temporal de manera secuencial, que son compatibles con las condiciones socioculturales para mejorar las condiciones de vida de la región ⁽³³⁾.

Diversidad biológica: es la variedad de formas de vida y de adaptaciones de los organismos al ambiente que encontramos en la biosfera, resultado de miles de millones de años de evolución según procesos naturales y también de la influencia creciente de las actividades del ser humano. Se suele llamar también biodiversidad y constituye la gran riqueza de la vida del planeta ⁽³⁴⁾.

Deforestación: es eliminar la cobertura de los árboles en aras de la agricultura, actividades mineras, represas, creación y mantenimiento de la infraestructura, expansión de las ciudades y otras consecuencias debidas a un crecimiento rápido de la población. Introducción ⁽³⁵⁾.

Cambio Climático: se refiere a un cambio en el estado del clima que puede ser establecido (por ejemplo, utilizando pruebas estadísticas) por cambios en el promedio y/o en la variabilidad de sus propiedad, y que persiste por un periodo extendido, típicamente durante décadas o más. El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o a fuerzas externas tales como las modulaciones de los ciclos solares, las erupciones volcánicas y cambios antropogénicas persistentes en la composición de la atmósfera y en el uso de la tierra. Tomar nota que la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define al cambio climático como el: “cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.” Por ende, la CMNUCC hace la distinción entre el cambio climático atribuido a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica, y la variabilidad climática atribuible a las causas naturales ⁽³⁶⁾.

Desarrollo sostenible: el desarrollo que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades ⁽³⁷⁾.

Captura de carbono: extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis ⁽³⁸⁾.

Carbono secuestrado: es un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de absorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero ⁽³⁹⁾.

Ecosistema: es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes. Las especies del ecosistema, incluyendo bacterias, hongos, plantas y animales dependen unas de otras. Las relaciones entre las especies y su medio, resultan en el flujo de materia y energía del ecosistema ⁽⁴⁰⁾.

Quema: es una técnica de deforestación muy utilizada para despejar grandes áreas de bosque con fines agrícolas y otros, es muy dañina para el medio ambiente. La gran cantidad de dióxido de carbono despendida contribuye al efecto invernadero. La desaparición de los árboles y la cubierta vegetal destruyen hábitats, acelera la erosión y multiplica la carga de sedimentos de los ríos, haciendo que las inundaciones estacionales sean mucho más graves ⁽⁴¹⁾.

Agroforestería: es un sistema de uso de la tierra que integra árboles productivos, cultivos, personas, y animales en el mismo pedazo de tierra para lograr mayor productividad, mejor rendimiento económico, y más beneficios sociales en un plazo sostenible. Crea un ecosistema con hasta 7 niveles de capas diferentes imitando un bosque en la naturaleza. Estas 7 capas son: arboles de madera, arboles leguminosos, arbustos frutales y nueces, enredaderas, viandas, hierbas y cultivos, y cobertores). Los árboles, arbustos y cobertores leguminosos son de gran importancia en este sistema ya que fertilizan el resto del ecosistema; fijan nitrógeno en el suelo y al podarlos producen grandes cantidades de biomasa que sirve como “abono verde.” Al inicio es trabajoso

establecer el sistema, pero una vez creado el mantenimiento es poco y la producción altísima ⁽⁴²⁾.

Ecosistema sostenible: un ecosistema sostenible es un entorno biológico y una serie de hábitats que es capaz de crecer y sostenerse, así mismo sin la influencia o ayuda externa. En los ecosistemas sostenibles ideales, todo ya está proporcionado para que se pueda dar la vida ⁽⁴³⁾.

Matero: una de las personas importantes para ejecutar el inventario forestal, especialista local con amplio conocimiento de las especies en campo ⁽⁴⁴⁾.

2.5 Identificación de variables

Variable independientes (x)

➤ Biomasa

- ✓ Indicador 1: Número y cantidad de componentes agroforestales.

Es importante indicar que se consideraran todas las especies comerciales (maderables), especies medicinales, cultivos de pan llevar para evaluar, producción, altura de planta comercial, número de plantas por hectárea y diámetro a la altura de pecho (DAP) y biomasa de hojarasca, entre otros.

Variables dependientes (y)

➤ Carbono Capturado

- ✓ Indicador 1: Cantidad de Carbono en la biomasa arbórea.
- ✓ Indicador 2: Cantidad de Carbono en la biomasa arbustiva y herbácea.
- ✓ Indicador 3: Cantidad de Carbono en la biomasa de la hojarasca.
- ✓ Indicador 4: Cantidad de Carbono en los 10 cm. superior del suelo.

2.6 Definición operativa de variables e indicadores.

VARIABLE		DEFINICION		DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	UNIDAD
		CONCEPTUAL	OPERACIONAL				
INDEPENDIENTE	Biomasa de acuerdo al número y cantidad de componentes agroforestales.	Los componentes del sistema lo conforman todas las especies agrícolas y forestales instaladas en un área determinada y que son factibles de ser medidas. La densidad de componentes es una función de la distancia entre ellas y ésta varía de acuerdo al diseño y naturaleza del sistema productivo.	La biomasa aérea está en función al número y cantidad de los componentes agroforestales.	Especies agroforestales	Número de especies agroforestales en los sistemas.	Razón	Unidad
				Diámetro de las especies	Especies con diámetros mayor a 2.5 cm del DAP.	Razón	cm.
				Edad de componentes	Edad de especies por SAFs	Razón	Año
				Densidad	Densidad aparente por especie.	Razón	g/cm ³

VARIABLE		DEFINICION		DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	UNIDAD
		CONCEPTUAL	OPERACIONAL				
D E P E N D I E N T E	Carbono en la biomasa arbórea.	Es el contenido de C en la biomasa arbórea en base a la materia seca multiplicada por una constante (0,45-0,50).	La cantidad de carbono está en función a la biomasa arbórea.	Carbono en la biomasa arbórea.	Cantidad de C en la biomasa arbórea.	Kg.	Razón
	Carbono en la biomasa arbustiva y herbácea.	Es el contenido de C en la biomasa arbustiva y herbácea en base a la materia seca multiplicada por una constante (0,45-0,50).	La cantidad de carbono está en función a la biomasa arbustiva y herbácea.	Carbono en la biomasa arbustiva.	Cantidad de C en la biomasa arbustiva y herbácea.	Kg.	Razón
	Carbono en la biomasa en la hojarasca.	Es el contenido de C en la hojarasca (necromasa) en base a la materia seca multiplicada por una constante (0,45-0,50).	La cantidad de carbono está dada en función a la biomasa en la hojarasca.	Carbono en la hojarasca.	Cantidad de C en la hojarasca.	Kg.	Razón
	Carbono en los 10 cm superiores del suelo.	Es el contenido de C en el suelo, en los 10 cm de la parte superior del suelo,	La cantidad de carbono está en función a los 10 cm superiores del suelo.	Carbono en el suelo.	Cantidad de C en el suelo.	Kg.	Razón

Cuadro N° 1: Definición operativa de variables e indicadores.

Fuente: Elaboración tesista

Capítulo III: Metodología de la Investigación

3.1 Ámbito de estudio

3.1.1 Social

La valoración del contenido de carbono capturado y CO₂ en la biomasa aérea en sistemas agroforestales en el distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín, ámbito donde se evaluó el contenido de carbono en la biomasa aérea, el contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva, el contenido de carbono en la biomasa en la hojarasca y el contenido de carbono en el suelo; en Sistemas Agroforestales – SAFs y un Bosque Primario como testigo.

Información que servirá a la municipalidad del distrito de San Roque, con una población de 4,510 habitantes, instituciones públicas y privadas interventoras en el mencionado ámbito, para diseñar propuestas de desarrollo sostenible en armonía con la naturaleza.

La población beneficiaria corresponde a todos los agricultores del ámbito del distrito de San Roque de Cumbaza. Por otro lado a los afluentes del río Cumbaza y el mismo río Cumbaza, ya que permitirá diseñar e implementar proyectos productivos sostenibles, garantizar el caudal de agua, conservar la belleza paisajística y abrir posibilidades de venta por servicios ecosistémicos.

3.1.2 Espacial

El presente proyecto se encuentra ubicado en:

Distrito	:	San Roque de Cumbaza
Provincia	:	Lamas
Región	:	San Martín
Región Geográfica	:	Selva Alta
Coordenadas Geográficas	:	340798 E 9293977 N
Altitud	:	700 m.s.n.m. la capital 600 a 1,200 m.s.n.m.
Extensión	:	65,878.99 ha.

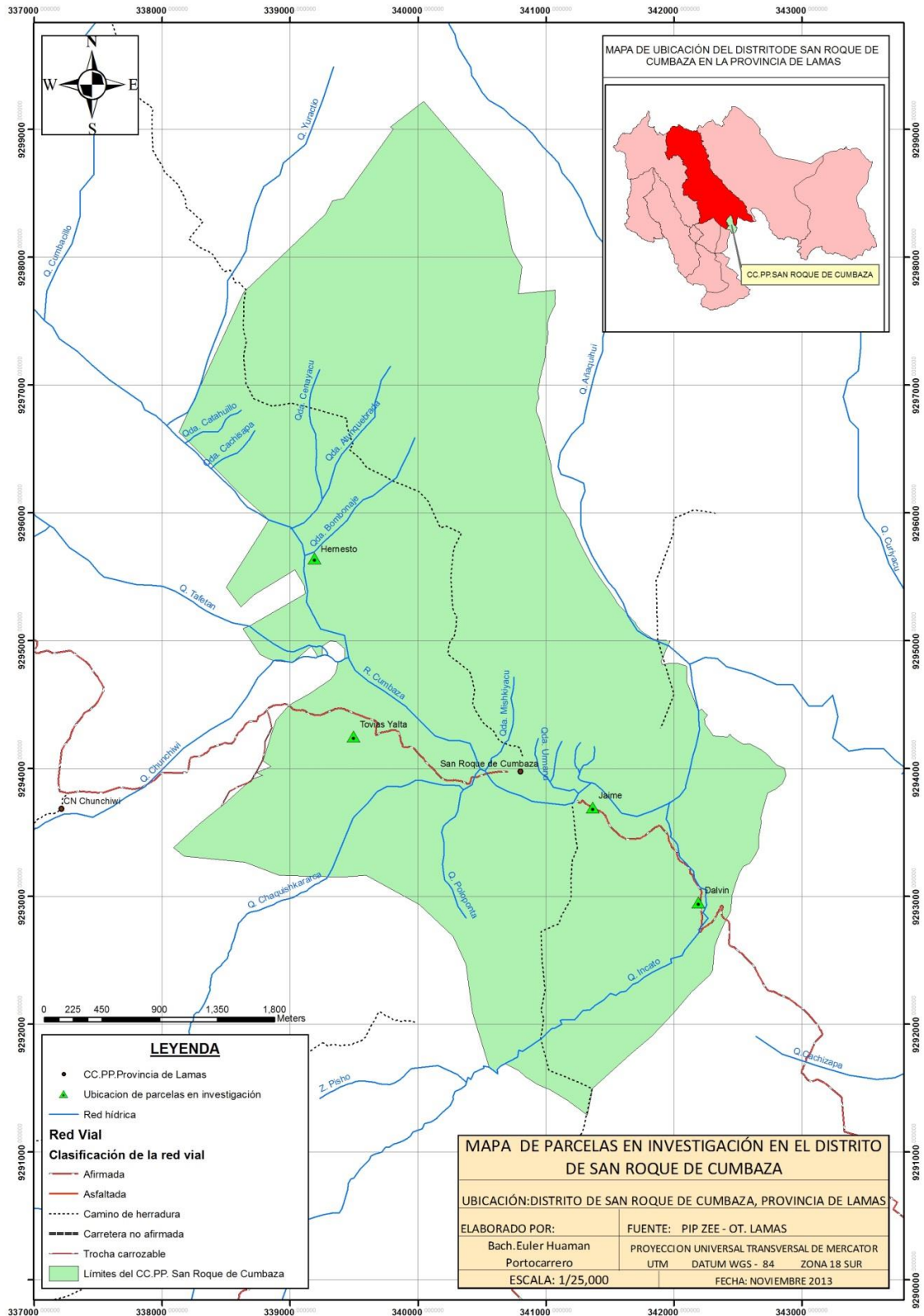


Gráfico N° 1: Ubicación espacial de la investigación

3.1.3 Temporal

EL tiempo que duró la investigación es de aproximadamente 09 meses, de Enero a Setiembre 2015.

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación fue experimental, utilizando Bloques (transeptos) de 5 m x 25 m., los cuales sirvieron de repeticiones por cada tratamiento, y al mismo tiempo fue descriptivo donde se detalla las características de las especies, características ambientales y factores socioeconómicos, con la finalidad de estimar el valor económico total del carbono fijado y secuestrado según el tipo de uso actual de la tierra SAF o Bosque Primario, y así describir lo que se investiga ⁽⁴⁵⁾.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades, o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. En el estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga ⁽⁴⁶⁾.

3.3 Nivel de Investigación

- **Investigación Exploratoria.** Esta metodología permitió identificar y caracterizar independientemente a los componentes agroforestales, estratos en los sistemas productivos y la cantidad de carbono fijado y secuestrado por estrato y tipo de uso actual de la tierra. Además nos permitió definir las relaciones existentes entre las políticas de manejo de los recursos naturales y su influencia en los sistemas productivos con mayor eficiencia de captura de carbono.
- **Investigación Descriptiva.** Consistió básicamente en recopilación de información adicional tales como metodologías de evaluación de carbono, experiencias globales, nacionales y regionales de sistemas productivos con mayores

capacidades de captura de carbono, la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE), resultados de intervenciones en proyectos de desarrollo, entre otros.

- **Investigación Explicativa.** En la interpretación de los resultados de las evaluaciones en los cuatros sistemas de uso de la tierra (3 SAFs y 1 Bosque), donde se explica a detalle los contenidos de carbono por estrato, por SAFs, en el Bosque y las causas que se estarían generando la pérdida del valor ambiental generado por la captura de carbono en sistemas productivos sostenible afectando y su efecto en el ambiente, buscando dar respuestas a la hipótesis planteada.

3.4 Método de Investigación

Para desarrollar la presente investigación, se consideró las siguientes etapas:

A) Etapa de gabinete inicial.

- Recopilación de información bibliográfica de estudios relacionados con el tema y de información de la zona de estudio.
- Consultas a profesionales ligados en tema de investigación.
- Elaboración de formatos de tomas de datos en campo y laboratorio.

B) Etapa de campo.

- Reconocimiento del área de estudio.
- Determinación georeferenciada de los puntos de muestreo por cada tratamiento.
- Inventario y evaluación en 3 repeticiones por tratamiento de los componentes agroforestales y toma de muestras de la biomasa arbustiva, herbácea, hojarasca y del suelo en puntos georeferenciados.
- Transporte de muestras al laboratorio.
- Análisis de muestras en el laboratorio de la UNSM-T San Martín

C) Etapa de gabinete final.

- Sistematización de la información recopilada en las etapas mencionadas anteriormente.
- Análisis e interpretación de resultados.
- Redacción e impresión del informe final del trabajo de investigación.
- Presentación del informe final.

3.5 Diseño de Investigación

La investigación es experimental, utilizando un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones por tratamientos ⁽⁴⁷⁾.

Los datos son procesados tomando con la determinación de promedios, análisis de varianza, desviación estándar, varianza muestral, regresión y coeficiente de variación como estadígrafos de evaluación estadística.

Tratamientos:

Sistema de uso de la tierra

T₁: SAF 1 (Café con guaba)

T₂: SAF 2 (Café con sombra diversas)

T₃: SAF 3 (Capironal)

T₄: SAF 4 (Bosque primario)

Variables evaluadas

- Contenido de Carbono en la Biomasa Aérea
- Contenido de carbono en la Biomasa Herbácea y Arbustiva
- Contenido de carbono en la Hojarasca.
- Contenido de carbono en el suelo.

3.6 Población, Muestra, Muestreo

3.6.1 Población.

Consiste el total de la población existente por cada sistema de uso actual de la tierra (componentes agroforestales y bosque primario natural).

3.6.2 Muestra.

La muestra fueron 4 sistemas de uso actual de la tierra, la primera fue un sistema agroforestal de café bajo sombra de guaba (*Inga edulis Mart*) y rufindi (*Inga marginata*) con 20 años de antigüedad, el segundo un sistema de café bajo sombra de especies forestales maderables con 21 años de antigüedad, el tercero fue un sistema de uso de la tierra con capirona (*Calycophyllum spruceanum*) de 10 años de antigüedad y el cuarto un bosque primario natural.

3.6.3 Muestreo

El muestreo estuvo en función a las dimensiones de los tratamientos, la misma que fue de 5 m de ancho por 25 m largo (125 m²). Se establecieron 3 repeticiones por cada tratamiento, haciendo un total de 375 m² evaluados por tratamiento.

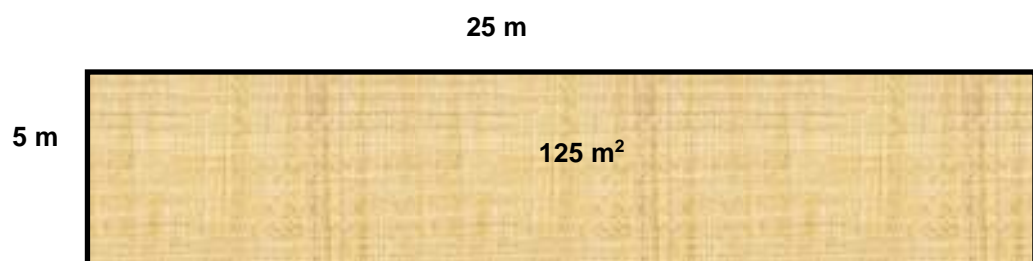


Gráfico N° 2: Diseño para Evaluar Biomasa Arbórea y Árboles Muertos

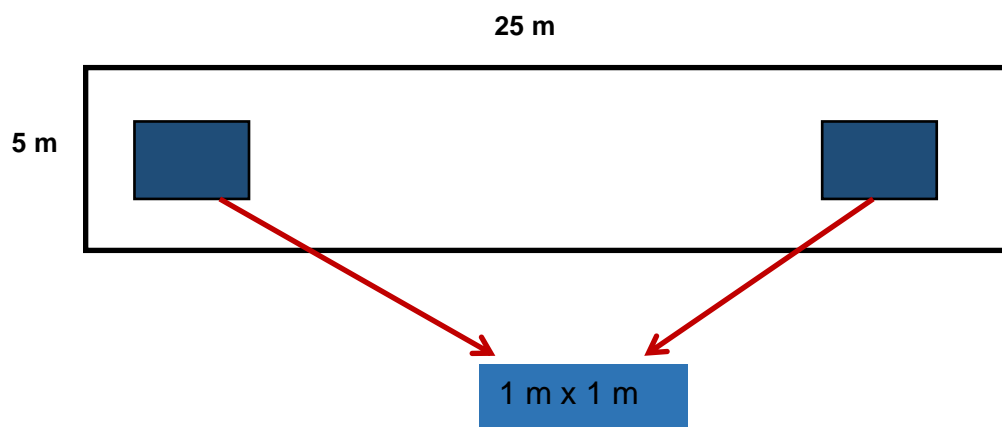


Gráfico N° 3: Diseño para Evaluar Biomasa Herbácea, Arbustiva y Hojarasca

3.7 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

3.7.1 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.

3.7.1.1 Validez de Contenido.

A través de la validez de contenido se trata de determinar hasta dónde los ítems de un instrumento son representativos del dominio o universo de contenido de la propiedad que se desea medir. Esta definición, aunque bien en teoría, presenta dificultades prácticas, ya que es imposible extraer muestras aleatorias de reactivos de un universo de contenido, puesto que este existe sólo conceptual o teóricamente.

Algunos autores han tratado de resolver el problema, de la validez de contenido, generando grandes cantidades de ítems de un dominio determinado, para luego obtener muestras representativas de dicho universo, a los fines de integrar un instrumento; sin embargo, en la opinión de autores como Kerlinger (2002), la validez de contenido de tales conjuntos, independientemente de qué tan grandes y tan

“buenos” sean los reactivos, es siempre dudosa y, por tanto, cuestionable. ¿Cómo lograr, entonces, una estimación de la validez de contenido de un instrumento? ⁽⁴⁸⁾.

A diferencia de otros tipos de validez, la de contenido no puede ser expresada cuantitativamente, a través de un índice o coeficiente; ella es más bien una cuestión de juicio. Es decir, la validez de contenido, por lo general, se estima de manera subjetiva o intersubjetiva ⁽⁴⁷⁾.

3.7.1.2 Validez de Predictivo.

La palabra predicción o predictivo normalmente se la asocia con visión o anticipación de futuro. En este sentido, cuando estudiamos la validez predictiva de un instrumento lo que nos interesa es determinar hasta dónde podemos anticipar el desempeño futuro de una persona en una actividad determinada, a partir de su ejecución actual en dicho instrumento. En consecuencia, la validez predictiva, también llamada validez de criterio externo o validez empírica, se estudia comparando los puntajes de un instrumento (variable independiente) con una o más variables externas (variables dependientes) denominadas variables criterio. Se asume que tales criterios, indicadores del desempeño futuro, están teórica y lógicamente relacionados con el rasgo representado en el instrumento bajo estudio. Esta comparación entre los puntajes de la variable en estudio y los del variable criterio se expresa a través de un coeficiente de correlación, el cual se interpreta como un índice de validez. Entre más alta sea la correlación entre una medida o medidas de aptitud académica y el promedio de notas, tomado como variable criterio, mejor será la validez predictiva de la prueba de aptitud académica. Es importante destacar que la validez predictiva suele estar asociada con problemas y resultados

prácticos; es decir, el interés no es tanto en lo que está detrás del desempeño en la prueba, sino más bien en ayudar a resolver problemas prácticos y tomar decisiones ⁽⁴⁸⁾.

3.7.1.3 Validez de Constructo.

La validez de constructo intenta responder la pregunta ¿hasta dónde un instrumento mide realmente un determinado rasgo latente o una característica de las personas y con cuánta eficiencia lo hace? Esta pregunta tiene sentido, particularmente en los instrumentos que se utilizan en la investigación psicoeducativa, ya que, como se ha mencionado anteriormente, en este campo hacemos mediciones indirectas de ciertas variables internas del individuo que denominamos constructos. En consecuencia, es necesario que podamos mostrar evidencia de que, efectivamente, el instrumento mide el rasgo o constructo que pretende medir.

Para estudiar la validez de constructo de un instrumento es necesario que exista una conceptualización clara del rasgo bajo estudio, con base en una “teoría” determinada. Esta nos permitirá tener una idea clara acerca de cómo se manifiesta el atributo bajo estudio, qué tipo de rendimiento, en la vida diaria, se facilitan por la posesión del atributo, cuáles subgrupos de la población lo poseen en alto o bajo grado y qué condiciones favorecen o impiden su expresión. La teoría del atributo, también sugiere las tareas de prueba que son las apropiadas para hacer aflorar el atributo. Además, la teoría sugiere las clases de evidencias que deben considerarse para evaluar las bondades de la prueba bajo estudio, si es que de hecho hace aflorar o depende directamente del constructo que se analiza ⁽⁴⁸⁾.

Según lo vertido respecto a los criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos; la validez de contenido predictivo se ajusta más a la naturaleza del proyecto de investigación, debido a los parámetros estadísticos a utilizar y obtener resultados predictivos porcentuales, de relación y correlación al estar asociada con problemas y resultados prácticos; es decir, basado en un interés de obtener información confiable para ayudar a resolver problemas prácticos y tomar decisiones.

3.8 Procedimiento de Recolección de Datos

a. Biomasa aérea

Es toda la biomasa (tronco, ramas, hojas) de los árboles con diámetros mayores de 2,5 cm. Para estimar el carbono retenido en la biomasa arbórea viva, se delimitaron parcelas de 5m x 25m y se realizó el inventario forestal. Se hizo la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles con 2,5 hasta 74.8 cm. de DAP.

b. Biomasa herbácea y arbustiva.

La biomasa herbácea y arbustiva, está compuesta por la biomasa sobre el suelo (epigea) constituido por arbustos menores de 2,5 cm de diámetro, gramíneas y otras herbáceas. La biomasa se estimó por muestreo directo en dos cuadrantes de 1 m x 1 m, distribuidas al azar dentro de las parcelas de 5m 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 colocado en sobre de papel correctamente identificada y su posterior secado en estufas de aire caliente a 75°C hasta obtener un peso seco constante (48 horas).

El peso seco de la biomasa se elevó a TM/ha multiplicado por el factor por convención de 0,45; obteniéndose así la cantidad de carbono en esta biomasa, la misma que se elevó matemáticamente a nivel de hectárea.

c. Biomasa en la hojarasca

Se cuantificó en base a la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas y ramas), en cuadrantes de 1 m x 1 m dentro de cada uno de los cuadrantes extraídos las herbáceas y las arbustivas. Se registró el peso fresco total obtenido de cada 1 m², de ésta se sacó una sub muestra y también se registró su peso, seguidamente se colocaron en sobres de papel (sobre manila) debidamente codificados y se secó en estufas a 75°C hasta obtener el peso seco constante (48 horas). Este peso seco se llevó a TM/ha y se multiplicó por el factor por convención de 0.45 para obtener la cantidad de C/ha contenida en la hojarasca.

d. Carbono en el suelo

En los cuadrantes señalados de 1 m x 1 m para el muestreo de la biomasa herbácea, arbustiva y hojarasca, se realizaron excavaciones por cuadrante de 0.10 m de ancho x 0.10 m de largo x 0.10 m de profundidad, las que fueron mezclados uniformemente y obtenido una muestra de 500 gr de suelo por transecto; previamente identificadas se enviaron al laboratorio para la cuantificación de carbono total y los análisis complementarios como porcentaje de materia orgánica, porcentaje de nitrógeno, textura, entre otros; lo cual permitió conocer la cantidad total de carbono por hectárea en el suelo en cada uno de los sistemas.

En el laboratorio

De las muestras recolectadas en campo de cada uno de los tratamientos y la parcela testigo (Bosque primario natural), se obtuvieron el peso fresco, las mismas que fueron trabajadas en el laboratorio de análisis de suelo de la facultad de

Agronomía de la Universidad Nacional de San Martín. De cada muestra por tratamiento, se obtuvo una sub muestra húmedo, las que se colocaron en sobres de papel manila debidamente codificados y se secó en estufas a 75°C hasta obtener el peso seco constante (48 horas).

3.9 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento y análisis de datos se realizó utilizando el programa estadístico SPSS 22, el cual utiliza el P-valor como unidad de comparación para la significación estadística en el análisis de varianza a probabilidades de 0.01 (1%) y 0.05 (5%). La prueba de rangos múltiples de Duncan a una probabilidad de 0.05 (5%) para promedios de tratamientos.

Las variables evaluadas: contenido de carbono en la biomasa aérea, contenido de carbono en biomasa herbácea y arbustiva, contenido de contenido de carbono en hojarasca y contenido de carbono en el suelo, se procesaron en un diseño en Bloques Completos al Azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamientos. La variable contenido total de Carbono se procesó en diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial doble 4x4 con tres repeticiones por tratamiento.

Capítulo IV: Resultados

4.1 Presentación de Resultados

4.1.1 Contenido de Carbono en la biomasa aérea.

Cuadro N° 2: Análisis de varianza para el contenido de Carbono en la biomasa aérea en kg.ha⁻¹

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P- valor Sig.
Blocks	1,415E9	2	7,074E8	0,269	0,773 N.S.
Tratamientos	5,847E10	3	1,949E10	7,411	0,019 *
Error experimental	1,578E10	6	2,630E9		
Total	7,566E10	11			

Promedio = 150694.23

C.V. = 10.7%

R² = 79.1%

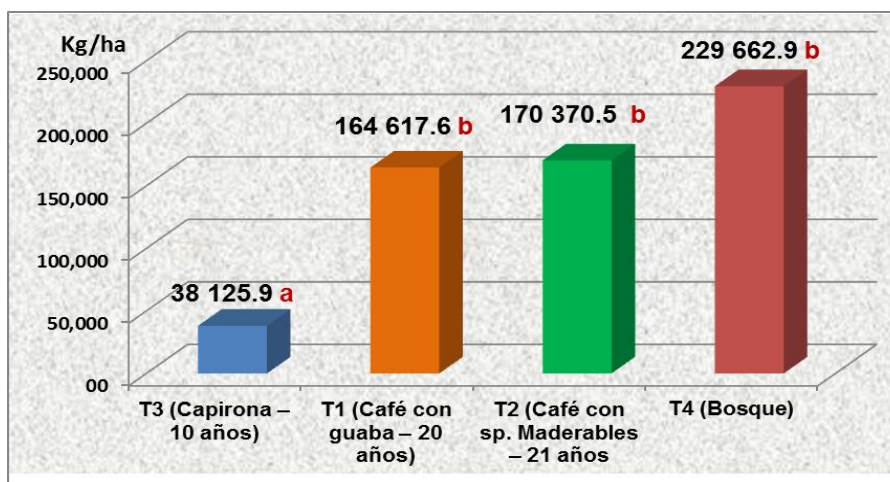


Gráfico N° 4: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05)) para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa aérea.

4.1.2 Contenido de Carbono en biomasa herbácea y arbustiva

Cuadro N° 3: Análisis de varianza para el contenido de Carbono en la biomasa herbácea y arbustiva en kg.ha⁻¹

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P- valor Sig.
Blocks	123,653	2	61,826	0,008	0,992 N.S.
Tratamientos	552007,658	3	184002,553	24,731	0,001 **
Error experimental	44641,332	6	7440,222		
Total	596772,643	11			
Promedio = 329.51		C.V. = 26.2%		R ² = 92.5%	

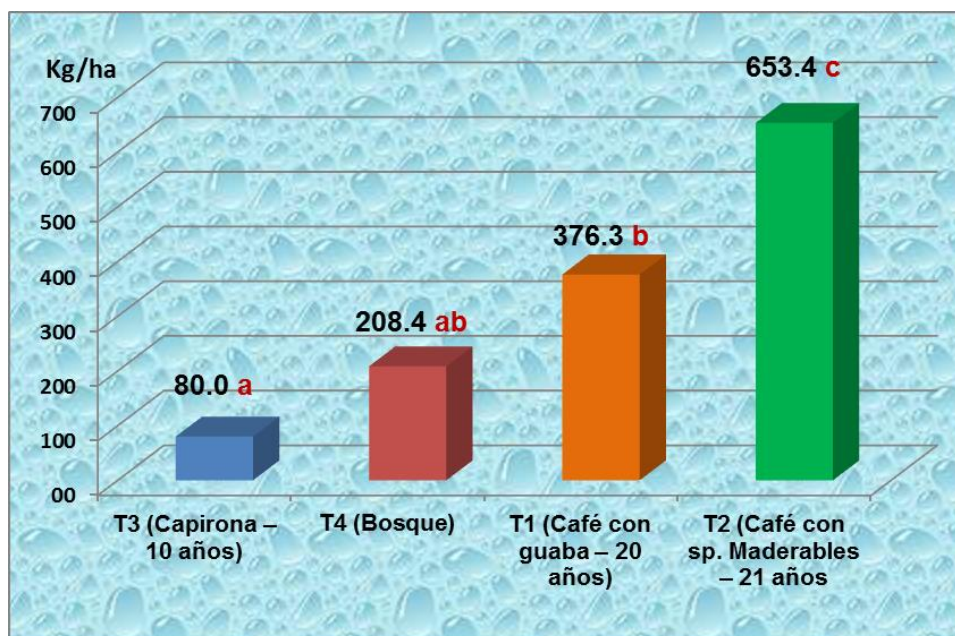


Gráfico N° 5: Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva.

4.1.3 Contenido de Carbono en hojarasca

Cuadro N° 4: Análisis de varianza para el contenido de Carbono en la hojarasca kg.ha⁻¹

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P- valor Sig.
Blocks	74003,539	2	37001,769	0,719	0,525 N.S.
Tratamientos	6691353,127	3	2230451,042	43,317	0,000 **
Error experimental	308948,576	6	51491,429		
Total	7074305,241	11			

Promedio = 1200.74

C.V. = 18.9%

R² = 95.6%

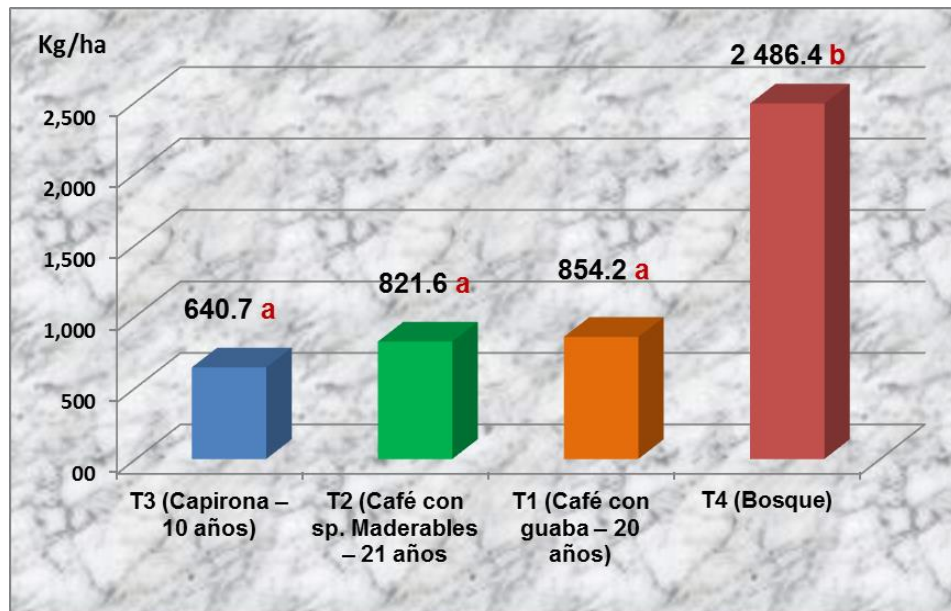


Gráfico N° 6: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05)) para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la hojarasca.

4.1.4 Contenido de Carbono en el suelo.

Cuadro N° 5: Análisis de varianza para el contenido de Carbono en el suelo en kg.ha⁻¹ a 10 cm de profundidad

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P- valor Sig.
Blocks	3,401E7	2	1,700E7	0,510	0,624 N.S.
Tratamientos	1,749E9	3	5,829E8	17,494	0,002 **
Error experimental	1,999E8	6	3,332E7		
Total	1,983E9	11			
Promedio = 28871.33		C.V. = 6.3%		R ² = 89.0%	

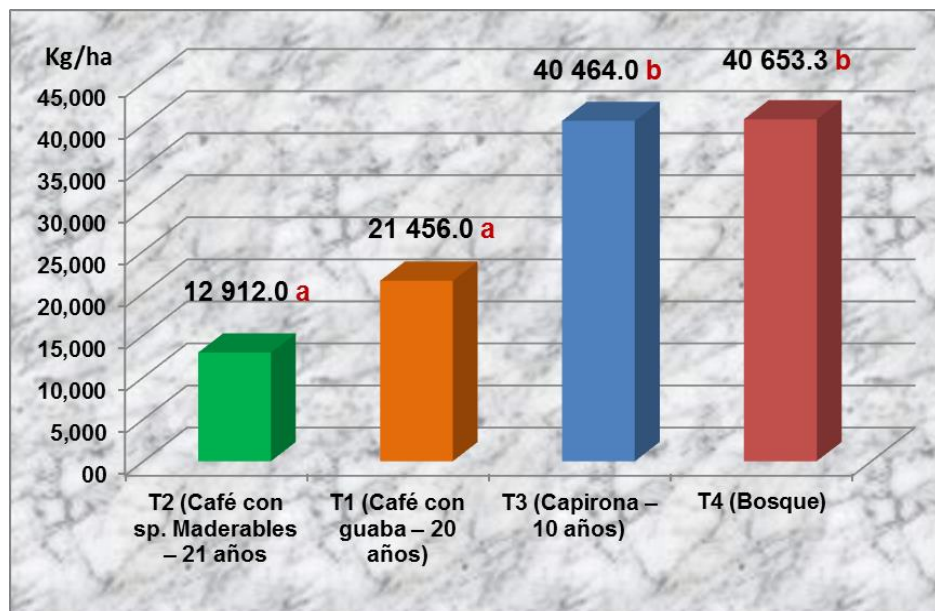


Gráfico N° 7: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en el suelo.

4.1.5 Contenido total promedio de Carbono

Cuadro N° 6: Análisis de varianza para el Contenido total promedio de Carbono en kg.ha⁻¹

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P- valor Sig.
FA: SUT	1,415E10	3	4,715E9	8,658	0,000 **
FB: Estratos	1,841E11	3	6,138E10	112,705	0,000 **
FA * FB	4,608E10	9	5,120E9	9,401	0,000 **
Error experimental	1,743E10	32	5,446E8		
Total	2,618E11	47			
Promedio = 45273.95		C.V. = 16.3%		R ² = 93.3%	

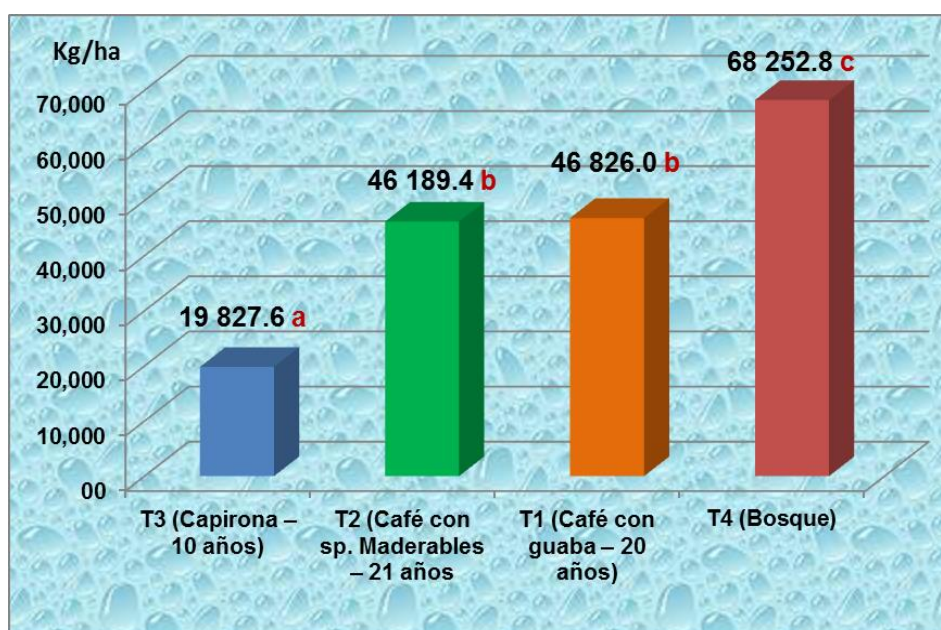


Gráfico N° 8: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para promedios de tratamientos respecto al contenido total de carbono en los diferentes SAFs.

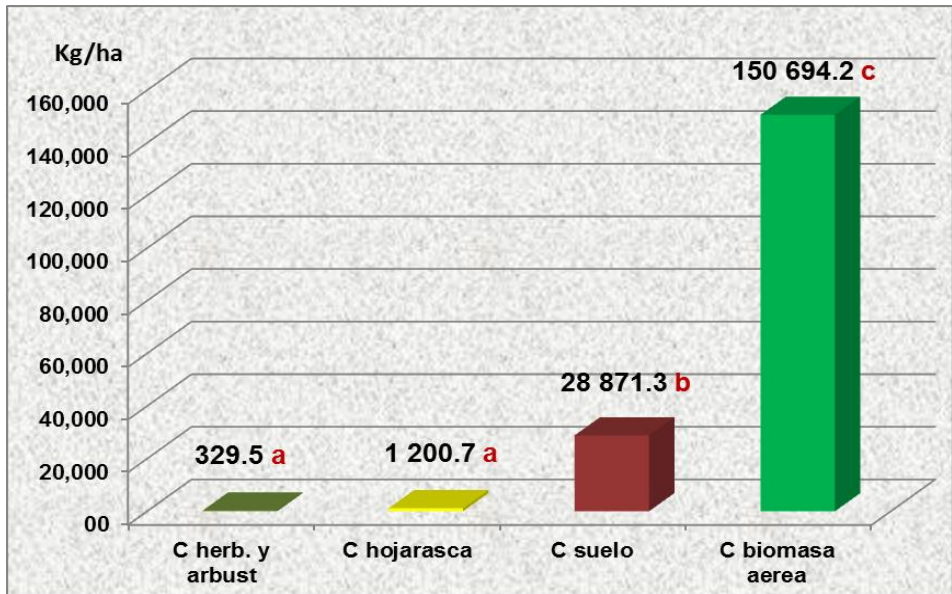


Gráfico N° 9: Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para promedios de tratamientos respecto al contenido total de carbono en los diferentes estratos.

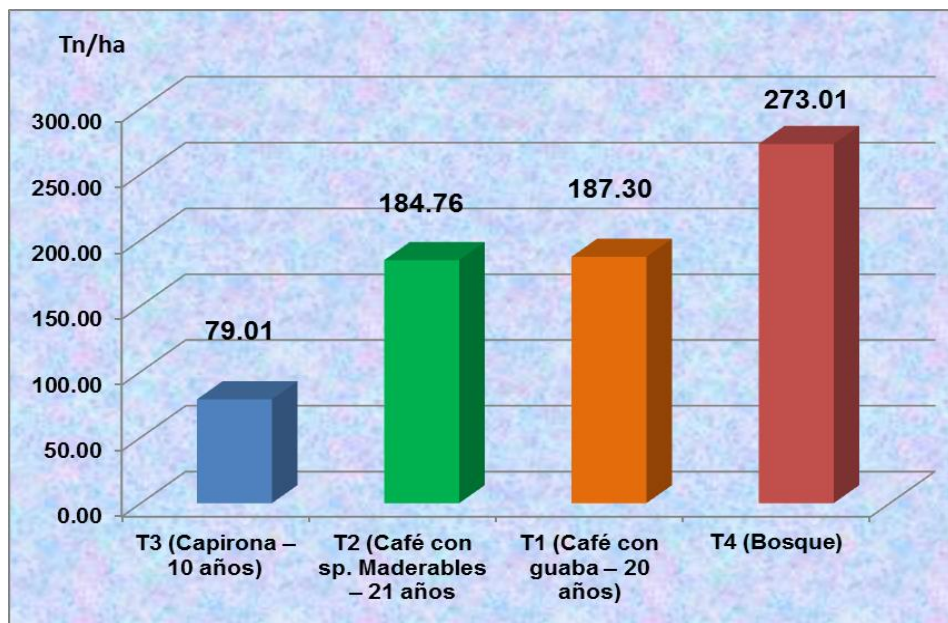


Gráfico N° 10: Contenido promedio total acumulado de carbono en los diferentes sistemas de uso de la Tierra.

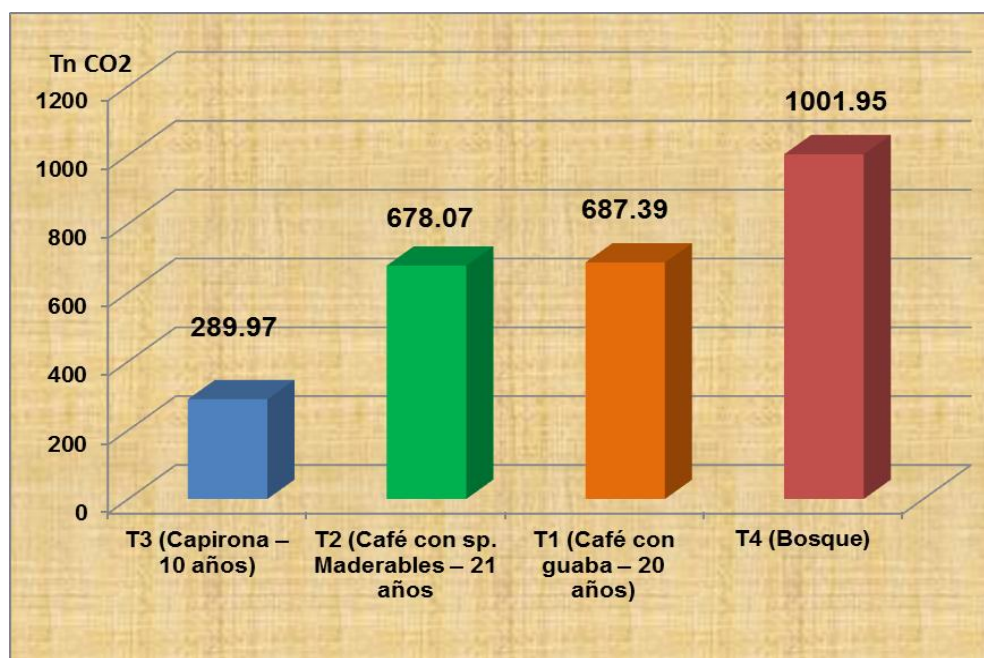


Gráfico N° 11: Contenido promedio total acumulado de CO₂ secuestrado en los diferentes sistemas de uso de la Tierra.

4.2 Discusión

4.2.1 Contenido de Carbono en la biomasa aérea.

- El análisis de varianza (Cuadro N° 3) para el contenido de carbono en la biomasa aérea no detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques no representó su eficiencia en el control del error experimental; en la fuente de variabilidad tratamientos se encontró diferencias significativas ($P < 0.05$) por lo que al menos uno de los tratamientos estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los diferentes Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) sobre el contenido de carbono en la biomasa aérea está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R^2) en un 79.1%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 10.7% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁵⁾.
- Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 4, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa aérea y donde se observa que el T4 (bosque primario) reportó el mayor promedio con 229 662.9 kg.ha⁻¹ de carbono en la biomasa aérea, siendo estadísticamente igual a los tratamientos T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T1 (Café con guaba – 20 años) quienes obtuvieron promedios de 170 370.5 kg.ha⁻¹, 164 617.6 kg.ha⁻¹ respectivamente y superando estadísticamente al tratamiento T3 (Capirona – 10 años) quien alcanzó un promedio de 38 125.9 kg.ha⁻¹ de carbono en la biomasa aérea. Es importante mencionar que el contenido de carbono en cualquier sistema de uso de la tierra es una función de la edad, el número de componentes establecidos en el sistema (densidad de plantas), de las características

nutricionales del suelo, de altitud y latitud, características climáticas, entre otros.

- Los Bosques naturales son los principales secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de la tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, pasturas bien manejadas con sistemas silvopastoriles, que pueden secuestrar en promedio 95 toneladas de carbono por hectárea en 15 años, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 hectáreas manejadas con sistemas tradicionales” (1).

- Según el ICRAF (International Council for Research in Agroforestry) “La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos 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 que son compatibles con las prácticas culturales de la población local” (49).

4.2.2 Contenido de Carbono en biomasa herbácea y arbustiva

- El análisis de varianza (Cuadro N° 4) para el contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva no detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques no representó su eficiencia en el control del error experimental; en la fuente de variabilidad tratamientos se encontró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) por lo que al menos uno de tratamiento estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los diferentes Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) sobre el contenido de carbono en la biomasa

herbácea y arbustiva está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R^2) en un 92.5%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 26.2% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁵⁾.

- Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 5, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva y donde se observa que el T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) reportó el mayor promedio con 653.4 kg.ha⁻¹ de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (Café con guaba – 20 años), T4 (bosque) y T3 (Capirona – 10 años) quienes obtuvieron promedios de 376.3 kg.ha⁻¹, 208.4 kg.ha⁻¹ y 80.0 kg.ha⁻¹ de carbono respectivamente.

4.2.3 Contenido de Carbono en hojarasca

- El análisis de varianza (Cuadro N° 5) para el contenido de carbono en la hojarasca no detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques no representó su eficiencia en el control del error experimental; en la fuente de variabilidad tratamientos se encontró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) por lo que al menos uno de tratamiento estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los diferentes Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) sobre el contenido de carbono en la hojarasca está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R^2) en un 95.6%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 18.9% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁵⁾.

- Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 6, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la hojarasca y donde se observa que el T4 (bosque primario) reportó el mayor promedio con $2\,486.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de carbono en la hojarasca, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T3 (Capirona – 10 años) quienes obtuvieron promedios de $854.2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $821.6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $640.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de carbono en la hojarasca respectivamente.

- Lapeyre, Alegre y Arévalo (2004), determinó las reservas en sistemas de bosque primario, secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas típicos de la zona: Maíz (*Zea mays*), arroz (*Oriza Sativa*) y pastos *Brachiarias*) y en sistemas agroforestales (café (*Coffea arabica*) bajo sombra y cacao (*Theobroma cacao L.*), en cada uno de éstos sistemas se establecieron al azar cinco transectos donde se evaluó la biomasa arbórea; dentro de éstos transectos se establecieron cuadrantes también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. El carbono total en el bosque primario fue de $485 \text{ tn C}\cdot\text{ha}^{-1}$, habiéndose reducido las reservas en más de 50% con el bosque secundario de 50 años ($234 \text{ tn C}\cdot\text{ha}^{-1}$). El bosque descremado de 20 años perdió más del 80% de reservas ($62 \text{ tn C}\cdot\text{ha}^{-1}$). Se observó que los sistemas boscosos alterados, difícilmente recuperan sus reservas de carbono y mucho más si son frecuentemente perturbados, como se observó en el bosque secundario de 20 años ⁽⁸⁾.

- El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Así mismo se constata que

la dispersión en los datos de sistemas boscosos no perturbados es mucho mayor que aquellos perturbados y más que sistemas agroforestales y agrícolas. Los sistemas agroforestales presentaron 19 y 47 tn C.ha⁻¹, dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo; sistemas que si bien no llegan a tener las reservas de carbono de los sistemas boscosos naturales, ayudan a recuperar el potencial de captura en forma productiva, ya que los sistemas agrícolas puros no llegan a capturar ni 5 tn C.ha⁻¹, además los sistemas agrícolas pueden generar fugas de gases efecto invernadero (GEI) cuando se usan agroquímicos y quema de rastrojos, entre otros.

4.2.4 Contenido de Carbono en el suelo.

- El análisis de varianza (Cuadro N° 6) para el contenido de carbono en el suelo no detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques no representó su eficiencia en el control del error experimental; en la fuente de variabilidad tratamientos se encontró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) por lo que al menos uno de tratamientos estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los diferentes Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) sobre el contenido de carbono en el suelo a 10 cm de profundidad está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R^2) en un 89.0%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 6.3% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁵⁾.

- El cambio climático es una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido su posible impacto negativo sobre la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía, los recursos naturales y la infraestructura física (Eguren, 2004). El cambio

climático es causado por el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera, especialmente dióxido de carbono (CO₂). Gran parte del CO₂ emitido a la atmosfera proviene del cambio de uso de la tierra, la deforestación en zonas tropicales, el uso de combustibles fósiles y la producción de cemento en países desarrollados (Brown y Lugo 1992, Dixon 1995). Los sistemas agroforestales (SAF) pueden fijar y almacenar entre 12 y 228 t C ha⁻¹, incluyendo el carbono orgánico del suelo, lo cual representa entre el 20 y 46% del carbono secuestrado en bosques primarios ^(49,50).

- Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 7, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en el suelo y donde se observa que los tratamientos T4 (bosque) y T3 (Capirona – 10 años) resultaron ser estadísticamente iguales entre si y reportaron los mayores promedios con 40 653.3 kg.ha⁻¹ y 40 464.0 kg.ha⁻¹ de carbono en el suelo respectivamente, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (Café con guaba – 20 años) y T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) quienes obtuvieron promedios de 21 456.0 kg.ha⁻¹ y 12 912.0 Kg.ha⁻¹ de carbono respectivamente.

4.2.5 Contenido total promedio de Carbono

- El análisis de varianza (Cuadro N° 7) para el contenido de carbono total detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques si representó su eficiencia en el control del error experimental, las fuentes de variabilidad FA: SAFs, FB: C en estratos y FA*FB si se detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) por lo que al menos uno de tratamiento estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de

la acción de los niveles del Factor A: Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) y de los niveles del Factor B: Carbono en estratos sobre el contenido total de carbono está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R^2) en un 93.3%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 16.3% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁵⁾.

- Es importante manifestar que los servicios ecosistémicos se expresan enteramente en los sistemas de uso de la tierra con bosques naturales, plantaciones forestales y sistemas agroforestales en sus diferentes modalidades y combinaciones. Particularmente el uso de la tierra con plantaciones de café bajo sombra tiene ventajas iniciales y que otros cultivos no las tienen. Los cafetos son plantas leñosas y que asociación con árboles de diferente índole fijan y mantienen retenida una importante cantidad de carbono en su ecosistema, así mismo, se reduce considerablemente las actividades de quema de los rastrojos, lo que permite una mayor expresión y magnificación de los servicios ambientales. Resumiendo los servicios ambientales de los sistemas agroforestales, podemos indicar que regulan el intercambio gaseoso, regulan el clima, regulan la oferta hídrica, control de erosión (retención de sedimentos), formación de suelos, reciclaje de nutrientes, polinización, control biológico, mantenimiento de biodiversidad y belleza escénica, paisaje, territorio (recreación, cultura).
- Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 8 presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en los diferentes SAFs evaluados y donde se observa que el tratamiento T4 (bosque primario) reportó el mayor promedio con 68 252.8 kg.ha⁻¹ de carbono total, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años)

y T3 (Capirona – 10 años) quienes obtuvieron promedios de 46 826.0 kg.ha⁻¹, 46 189.4 kg.ha⁻¹ y 19 827.6 Kg.ha⁻¹ de carbono total promedio respectivamente.

- Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico 9 presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en los diferentes estratos (hojarasca, herbácea – arbustiva, árboles vivos – muertos y suelo) evaluados y donde se observa que el tratamiento T1 (C en biomasa aérea) reportó el mayor promedio con 150 694.2 kg.ha⁻¹ de carbono total promedio, superando estadísticamente a los tratamientos T4 (C en el suelo), T3 (C en hojarasca) y T2 (C en biomasa herbácea y arbustiva) quienes obtuvieron promedios de 28 871.3 kg.ha⁻¹, 1 200.7 kg.ha⁻¹ y 329.5 Kg.ha⁻¹ de carbono total promedio respectivamente.
- Una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂ (obtenido en función de los pesos moleculares del carbono y del CO₂, de 12 / 44). Para saber la cantidad de CO₂ emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se debe multiplicar ésta por 3,67. A su vez, una tonelada de biomasa forestal posee aproximadamente entre 0.45 a 0.55 toneladas de carbono, por lo que los cálculos del CO₂ fijados en Tn se derivaron de multiplicar los contenidos totales acumulados de carbono por 3.67 y divididos entre 1,000 para transformarlos en toneladas.
- El gráfico N° 10 presenta los promedios totales acumulado de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra, donde el T4 (Bosque primario) alcanzó el mayor contenido acumulado de Carbono con 273.01 Tn.ha⁻¹ lo que representa 1001.95 Tn de CO₂ fijado en el sistema (gráfico N° 11). Los tratamientos (sistemas de

uso de la tierra) T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T3 (Capirona – 10 años) alcanzaron contenidos de carbono acumulado de 187.3 Tn·ha⁻¹, 184.76 Tn·ha⁻¹ y 79.01 Tn·ha⁻¹ respectivamente y lo que representa 687.39, 678.07 y 289.97 Tn de CO₂ fijado en el sistema respectivamente (gráfico N° 11).

- Los resultados obtenidos en el presente estudio, se asemejan mucho a los resultados obtenidos en los estudios de COOCAFE (2008) que determinaron que en 2001 los sistemas agroforestales con café en El Salvador presentan los siguientes valores de almacenamiento de carbono: sistema rústico (174 Tn·ha⁻¹); sistema tradicional (101 Tn·ha⁻¹); bosque (196 Tn·ha⁻¹); moderno (118 Tn·ha⁻¹); comercial (76 Tn·ha⁻¹) ⁽⁵¹⁾.
- Las primeras estimaciones de carbono almacenado en sistemas agroforestales en café en Guatemala, encontrando el valor promedio general de 91,64 ton C·ha⁻¹ para las siete regiones de producción del país. Para el caso de Costa Rica uno de los primeros estudios fue el realizado por Fournier (citado por ANACAFE, 1998) en los años noventa, donde encontró que un sistema agroforestal con café (árboles, cafetos, hierbas del suelo, hojarasca y materia orgánica del suelo) tenía 198 toneladas de carbono/hectárea ⁽⁵¹⁾.
- 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 vegetal seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar de 150 y 382 tn·ha⁻¹, por lo tanto el carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 tn·ha⁻¹ ⁽⁵¹⁾.

4.3 Conclusiones

- En el Bosque (T4) se reportó los mayores contenidos de carbono en la biomasa aérea (árboles vivos y muertos) con 1 096 326.5 kg.ha⁻¹ y con 2 486.4 kg.ha⁻¹ de carbono en la hojarasca.
- Respecto al contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva, el SAF Café con guaba – 20 años (T1) reportó el mayor promedio con 1 176.4 kg.ha⁻¹ de carbono.
- En el suelo, los tratamientos T4 (bosque) y T3 (Capirona – 10 años) resultaron ser estadísticamente iguales entre si reportando los mayores promedios con 40 653.3 kg.ha⁻¹ y 2 486.4 kg.ha⁻¹ de carbono en el suelo respectivamente.
- En relación al contenido total de carbono en los diferentes SAFS, el tratamiento T1 (Café con guaba – 20 años) reportó el mayor promedio con 409 026.8 kg.ha⁻¹ de carbono total.
- Respecto al contenido total de carbono en los diferentes estratos, el tratamiento T4 (C en el suelo) reportó el mayor promedio con 284 918.78 kg.ha⁻¹ de C total.
- La evaluación del contenido de Carbono acumulado en el Bosque primario alcanzó el mayor valor con 273.01 Tn.ha⁻¹ lo que representa 1001.05 Tn de CO₂ fijado en el sistema. Los tratamientos (sistemas de uso de la tierra) T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T3 (Capirona – 10 años) alcanzaron contenidos de carbono acumulado de 187.3 Tn.ha⁻¹, 184.76 Tn.ha⁻¹ y 79.01 Tn.ha⁻¹ respectivamente y lo que representa 687.39, 678.07 y 289.97 Tn de CO₂ fijado en cada ecosistema (sistema de usos de la tierra) respectivamente. Lo que evidencia que la concentración de carbono en los SAFs contribuyen con un alto potencial ambiental a la concentración de CO₂ en la atmósfera.

4.4 Recomendaciones

- La conservación y protección de los bosques por la capacidad de captura de CO₂, diseñando estrategias de estímulos a los pequeños agricultores asentados en la parte media y alta del río Cumbaza que cuentan con áreas boscosas.
- La gobernación Regional, los gobiernos provinciales de San Martín y Lamas, y los gobiernos distritales que conforma la Mancomunidad del Cumbaza, deben considerar en su Plan Estratégico objetivos y estrategias que orienten a reducir la presión a las zonas boscosas, así como de hacer cumplir la normatividad vigente que garantice la intangibilidad de la faja marginal del río Cumbaza, consideradas como la gran esponja hídrica de abastecimiento de agua a toda la mancomunidad para diversos usos.
- Los SAFs como sistemas de usos de la tierra que capturan cerca de las 2 cuartas partes de CO₂, con relación a un sistema boscoso natural, debe ser impulsado como política de desarrollo agrario en la región por las condiciones edafoclimáticas, como alternativa ecológica y económica de los pequeños agricultores asentados en zonas de laderas de aptitud forestal.
- En los Sistemas Agroforestales se recomienda asociar especies forestales, frutales y medicinales, que permita obtener diversos productos y beneficios del sistema, orientados a la seguridad alimentaria de las familias, así como para fines comerciales. Adicionalmente se puede aprovechar con fines de crédito de bonos de carbono, en el marco de los acuerdos de la COP 20.
- Las instituciones de desarrollo deben impulsar estrategias para evaluar la rentabilidad de los SAFs en la sub cuenca del Cumbaza y subvencionar los costos de certificación del servicio de captura de carbono en pequeños agricultores.

- La cooperativa Oro Verde, ubicada en la provincia de Lamas, de la cual son socios/as los/as agricultores cafetaleros de la sub cuenca del Cumbaza, la misma que cuenta con una buena base orgánica, debe analizar la viabilidad de invertir en la certificación de emisiones reducidas como parte del servicio hacia sus asociados/as, lo que podría generar una mayor rentabilidad de la parcela con un compromiso ambiental desde sus asociados/as.

4.5 Referencia Bibliográfica

1. Arévalo y Guzmán (2003). "Servicios ambientales de almacenamiento de carbono como activo para el desarrollo de la Amazonia Peruana: avances y retos." SEPIA X (Tema III : La diversidad como activo para el desarrollo)
2. Calderón y Cordeloro (1982). Citado por Chappa, Gallusser y Tenorio. Sistemas productivos en la Región San Martín. SEPIA XII, Perú, el problema Agrario en Debate. Tarapoto, 13 al 16 de agosto 2007.
3. Censo Nacional 2007: XI de población y VI de vivienda.
4. Compendio Estadístico Perú 2014.
5. Nye, P.H. y Greenland, D.J. 1960. Los suelos bajo la agricultura migratoria.
6. Alegre y Cassel (1996). Dinámica de las propiedades físicas del suelo en sistemas alternativos a la tala y quema. La agricultura, los ecosistemas para el Medio Ambiente.
7. Hidalgo C (2011). Determinación de reservas totales de Carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María.
8. Lapeyre T., Alegre J. & Arévalo L. (2004). Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea en diferentes sistemas de uso de tierra en San Martín, Perú.
9. Callo-Concha, Krishnamurthy y Alegre (2001). Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF'S y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonía del Perú.
10. Alegre, J., L. Arévalo y A. Ricse., J. Barbarán y C. Palm. (2001). Reservas de carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en los sitios de la Amazonía Peruana Symposium Internacional de Agroforestería. Manaus, Brazil EMBRAPA 21-24 de Noviembre 2000. 15 p.
11. Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático – CMNUCC, Río de Janeiro (1992).
12. Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático – GIECC (2007). 91 pág.

13. IPCC Cambio climático (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
14. Maisonnave R, (1997). Conferencia realizada para la Academia Nacional de Ingeniería, el día 28 de octubre en el Salón de Actos del Ministerio de Educación y Cultura.
15. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, (1996). Cumbre Mundial sobre la Alimentación del 13 al 17 de Noviembre, Roma, Italia.
16. Dixon; R. K. (1995). Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31: 99 -116.
17. VENEGAS, S. (2003). Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada. Universidad Centroamérica, Facultad de ciencia, Tecnología y ambiente. Managua – Nicaragua. 37 p.
18. Masera *et al.* (1997). Dinámica de cambio de uso del suelo y emisiones de carbono en la Meseta Purepecha, México, 25 pág. Citado por Gamarra J. Estudio sobre estimación del contenido de carbono en plantaciones de Eucalyptus, (*Globulus labill*), Junín 2001.
19. Ortiz A, Riascos L, Somarriba E, (2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*)
20. Senayake R., Gamboa L. (2003). Fortaleciendo de Relaciones Comunitarias: Intercambio Internacional para el Manejo de los Recursos Naturales. Taller de Desarrollo en la Economía Local desde un enfoque de Forestarías Análogas: Sri Lanka y Ecuador. Santa María Huatulco, México, 9 -15 de Noviembre 2003. 41 p. Citado por Rocha J., Captura de Dióxido de Carbono.

21. López, 1980. Citado por Peter et al., (2002). Proyectos de investigación aplicada a los recursos forestales nativos – Captura de Carbono, Argentina – Banco Mundial, 15 p.
22. Jandl (2003). Centro de investigación forestal. Secuestro de carbono en bosques – El papel del suelo, Viena, Australia, 62 p.
23. Dixon; R. K., Browns, S., Houghton R. A., Solomon A.M., Trexler M. C. y Wisniwski J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 180-190.
24. Chaturveni, A. N. (1994). Sequestration of atmospheric carbon in India's forest. Ambio 23: 461.
25. Gayoso (2006). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile, 22 p.
26. Brack. et al. 1985 Sistemas Agroforestales e importancia de la agroforestería en el Desarrollo de la Selva Central. INFOR-GTZ, San Ramón. 180 p.
27. Brack, (1992). Experiencias agroforestales en la Cuenca Amazónica, tratado de Cooperación Amazónica. TCA. Secretaria pro tempore. CEPIS/OPS.
28. CHAPPA S.M.; C.E. (2007). Estudio de sistemas de producción practicado por pequeños agricultores del Bosque Seco tropical en la Selva Alta Peruana. Tesis de maestría por sustentar en la Universidad de Chile. (54 pp.)
29. Ordóñez J, de Jong B, Masera O, (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de Pinus pseudostrobus en Nuevo San Juan, Michoacán, Madera y Bosques, México, vol. 7, núm. 2, pp. 27-47
30. <http://www.cecyt3.ipn.mx/actividades-on-ine/quimica2/CARBONO.pdf>
31. <http://cambioclimaticoglobal.com/dioxido>.
32. <http://www.plantasdebiomasa.net/index.php/que-es-la-biomasa>
33. Camacho H. L. (1992). Mediciones del Componente Arbóreo: Cercas Vivas y Cortinas Rompevientos.
34. <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/12EcosPel/120DivBiol.htm>
35. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA.
36. <http://www.cop20.pe/3885/glosario-de-conceptos/>

37. Organización de las Naciones Unidas, 2012.
38. <http://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/captura-carbono.htm>
39. <http://www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro.php>
40. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/quees.html>
41. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/12/04/80294>
42. <http://www.plenitudpr.org/agroforesteriacutea.html>
43. http://www.ehowenespanol.com/ecosistema-sostenible-hechos_341565/
44. CESVI – Cooperazione e Sviluppo (2002). Guía práctica de inventarios forestales al 100% para concesiones forestales. Proyecto “Manejo Sostenible de los Recursos Forestales en la Provincia de Tahuamanu, Madre de Dios, Perú”.
45. Hernández R. Fernández C. y Baptista P. (1999) Metodología de la Investigación – segunda edición. Mc GRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. 06450 México D.F. 50.
46. Hernández Sampieri, *et al.*, (1998). Metodología de la investigación, tercera edición.
47. Calzada, Benza J. (1982). “Métodos estadísticos para la investigación”. Editorial Milagros S.A. Lima –Perú. 664 p.
48. <http://investigacion.upeu.edu.pe/images/7/74/Validez.pdf>
49. ICRAF, 2003. Arevalo L, Alegre J, Palm Cheryl. Manual de Determinación de las Reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de Uso de la Tierra en Perú.
50. Alegre, J., Ricse A, Arévalo, Barbarán J, Palm C. (2000). Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo 12:8-9.
51. COOCAFE- Consorcio de Cooperativas de Caficultores de Guanacaste y Montes de Oro (2008). Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de carbono, Costa Rica.

Otras Referencias

52. Alegre et al 2001. Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonía Peruana.
53. Rüginitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -- 1. ed. -- Lima, Perú.: Centro Mundial agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 2009. 79 p.

4.6. Artículo Científico

Título:

Determinación del Contenido de Carbono Capturado y CO₂ en la Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales, distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas, Región San Martín - 2015.

Resumen

El objetivo de la presente investigación es mostrar los resultados de las evaluaciones realizadas del potencial de carbono en sistemas agroforestales SAFs ubicadas en la parte alta de sub cuenca del río Cumbaza, distrito de San Roque de Cumbaza, Provincia de Lamas considerando tres sistemas agroforestales y un bosque primario natural (BPM) como testigo. Los sistemas evaluados son: SAF 1, café con guaba de 20 años; SAF 2, café con sombras diversas de 21 años; SAF 3, bosque de capirona de 10 años y BPM, bosque primario natural como testigo, en ellas se evaluaron carbono en la biomasa aérea, carbono en la biomasa herbácea y arbustiva, carbono en biomasa en la hojarasca y carbono en el suelo, en un total de 16 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento.

El análisis de los datos se realizó utilizando el programa estadístico SPSS 19, el cual utiliza el P-valor como unidad de comparación para la significación estadística en el análisis de varianza a probabilidades de 0.01 (1%) y 0.05 (5%). La prueba de rangos múltiples de Duncan a una probabilidad de 0.05 (5%) para promedios de tratamientos. Las variables evaluadas: contenido de carbono en la biomasa aérea, contenido de carbono en biomasa herbácea y arbustiva, contenido de carbono en hojarasca y contenido de carbono en el suelo, se procesaron en un diseño en Bloques Completos al Azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamientos.

De los resultados se puede concluir que de los promedios totales acumulados de carbono en los diferentes sistema de uso de la tierra, el Bosque Primario Natural (T4), alcanzó el mayor contenido acumulado de carbono con 273.01 Tn-ha⁻¹ lo que representa 1001.05 Tn de CO₂ fijado en el sistema. Los tratamientos T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T3 (Capirona – 10 años) alcanzaron contenidos de carbono acumulado de 187.3 Tn-ha⁻¹, 184.76 Tn-ha⁻¹ y 79.01 Tn-ha⁻¹ respectivamente, lo que representa 687.39, 678.07 y 289.97 Tn de CO₂ fijado en el sistema respectivamente.

Palabras claves: Agroforestería, cambio climático, pago por servicios ambientales, biomasa, flujos de fijación de carbono, Transecto, efecto invernadero, captura.

Abstract

The aim of this research is to show the results of the assessments made of the carbon potential in agroforestry systems AFS located in the upper part of sub basin of the Cumbaza River district of San Roque de Cumbaza, Province of Lamas considering three agroforestry systems and Natural primary forest (BPM) as a witness. The evaluated systems are: SAF 1 coffee with guaba of 20 years; SAF 2 coffee with different shades of 21; SAF 3 forest capirona of 10 years and BPM, natural primary forest as a witness in them were evaluated the carbon herbaceous and woody biomass,

biomass carbon in the litter and soil carbon, carbon were evaluated in aboveground biomass in a total of 16 treatments and 3 replications per treatment.

The data analysis was performed using SPSS 19, which uses the P-value as a comparison unit for statistical significance in the analysis of variance odds of 0.01 (1%) and 0.05 (5%). The multiple range test of Duncan to a probability of 0.05 (5%) for treatment averages. The variables evaluated: carbon content in aboveground biomass, carbon content in herbaceous and woody biomass, carbon content in litter and carbon content in the soil, processed in a complete block design at random with four treatments and three repetitions by treatment.

From the results it can be concluded that the total accumulative averages of carbon in different system of land use, the Primary Forest Natural (T4) reached accumulated carbon with 273.01 the highest content Tn-ha⁻¹ which represents 1001.05 tons of CO₂ fixed in the system. The Treatments T1 (Coffee with guaba - 20 years), T2 (Coffee with sp Maderables - 21) and T3 (Capirona - 10 years) reached carbon contents accumulated of 187.3 Tn-ha⁻¹, 184.76 Tn-ha⁻¹ and 79.01 Tn-ha⁻¹ respectively, representing 687.39, 678.07 and 289.97 tons of CO₂ respectively set to the system.

KEYWORDS: Agroforestry, climate change, payment for environmental services, biomass, carbon sequestration flows, transect, greenhouse catch.

Introducción

Los bosques del trópico húmedo contienen la más grande concentración de biomasa y biodiversidad de la tierra, por lo que su destrucción tiene una serie de efectos para la vida del planeta. Cuando estos bosques cambian a otros usos de la tierra, a través de la quema de su biomasa, más del 85% del carbón almacenado en la vegetación, se pierde en la atmósfera, principalmente como CO₂, siendo la causa principal la acumulación del CO₂ en la atmósfera, después de la combustión de fósiles⁽¹⁾.

La Región San Martín, ubicada en la Selva Alta Peruana, posee una extensión de 5,251,483 Ha. y se caracteriza por su topografía fuertemente accidentada, suelos ácidos (aproximadamente 75%), con agricultura y ganadería de subsistencia. Según la capacidad de uso mayor 198,434 Ha (3.83%) son tierras apta para cultivos en limpio (A), 415,853 Ha (8.03%) para cultivos permanentes (C), 83,851 Ha (1.62%) para pastos (P), 825,982 ha (15.95%) tierras de producción forestal (F), y 3,619,876 Ha (69.89%) tierras de protección (X) y 35646 Ha (0.69%) como cuerpos de agua, haciendo un total de 5,179,642 Ha⁽²⁾. De la extensión total, solamente 614,293 Ha. son aptas para las actividades agrícolas. De los 728,808 habitantes que tiene la región, 91, 224 (42%) se dedican a la agricultura y producen un volumen total de 2,087,559 TM. de alimentos por año^(3,4).

La Región San Martín, es la región del Perú con mayor área deforestada (1 millón 400 mil hectáreas de tierras erosionadas)⁽⁵⁾, las mismas que se encuentran mayormente ubicadas en laderas con pendientes entre 10 y 30 por ciento en las que se practican la agricultura migratoria y los sistemas productivos basados en monocultivos temporales de baja rentabilidad y sostenibilidad.

El cambio de uso de la tierra y las actividades forestales han sido, y son actualmente, fuentes netas de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Sin embargo, con un manejo adecuado, 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.

El sistema de corte y quema o agricultura migratoria es el sistema predominante en los trópicos húmedos del Perú y otros países de la Amazonía. Este sistema consiste en la tumba de un bosque ya sea primario o secundario para la siembra de cultivos y posterior abandono en barbecho por un tiempo variable para volver nuevamente con cultivos. Este sistema de uso tradicional de la tierra pierde muy rápido su productividad debido al deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Además es el sistema que causa mayor deforestación^(5,6).

Dentro de este esquema actual, el pago por servicios ecosistémicos por captura o almacenamiento de carbono que los bosques de la Amazonía peruana proveen al medio ambiente, es considerado una promisoría como activo para el desarrollo de los pueblos y comunidades amazónicas que en su mayoría se encuentran en extrema pobreza.

El objetivo de la presente investigación es mostrar los resultados de las evaluaciones realizadas del potencial de carbono en sistemas agroforestales SAFs y bosque primario natural, ubicadas en la parte alta de sub cuenca del río Cumbaza, considerada como zona de amortiguamiento del Área de Conservación Regional "Cordillera Escalera", ámbito del distrito de San Roque de Cumbaza, considerando tres sistemas agroforestales y un bosque primario natural como testigo. Información que pretende contribuir con información técnica para la formulación de proyectos, pago por servicios ecosistémicos, en los marcos de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, propuesto en el protocolo de Kyoto, así como para la toma de decisiones de políticas relacionadas al desarrollo sostenible de la sub cuenca.

Metodología de la Investigación

El tipo de investigación fue experimental, utilizando Bloques (transeptos) de 5 m x 25 m., los cuales sirvieron de repeticiones por cada tratamiento, y al mismo tiempo fue descriptivo donde se detalla las características de las especies, características ambientales y factores socioeconómicos, con la finalidad de estimar el valor económico total del carbono fijado y secuestrado según el tipo de uso actual de la tierra SAF o Bosque Primario, y así describir lo que se investiga⁽⁴⁴⁾.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades, o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. En el estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga⁽⁴⁵⁾.

Diseño de la investigación

La investigación es experimental, utilizando un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones por tratamientos⁽⁴⁶⁾.

Los datos son procesados tomando con la determinación de promedios, análisis de varianza, desviación estándar, varianza muestral, regresión y coeficiente de variación como estadígrafos de evaluación estadística.

Los datos son procesados tomando con la determinación de promedios, análisis de varianza, desviación estándar, varianza muestral, regresión y coeficiente de variación como estadígrafos de evaluación estadística.

Tratamientos:

Sistema de uso de la tierra

- T₁: SAF 1 (Café con guaba)
- T₂: SAF 2 (Café con sombra diversas)
- T₃: SAF 3 (Capironal)
- T₄: SAF 4 (Bosque primario)

Variables evaluadas

- Contenido de Carbono en la Biomasa Aérea
- Contenido de carbono en la Biomasa Herbácea y Arbustiva
- Contenido de carbono en la Hojarasca.
- Contenido de carbono en el suelo

Población, Muestra, Muestreo

Población.

Se evaluó al 100% de la población existente por cada sistema de uso actual de la tierra (componentes agroforestales y bosque).

Muestra

La muestra fueron 4 sistemas de uso actual de la tierra, la primera fue un sistema agroforestal de café bajo sombra de guaba (*Inga edulis Mart*) y rufindi (*Inga marginata*) con 20 años de antigüedad, el segundo un sistema de café bajo sombra de especies forestales maderables con 21 años de antigüedad, el tercero fue un sistema de uso de la tierra con capirona (*Calycophyllum spruceanum*) de 10 años de antigüedad y el cuarto un bosque primario.

Muestreo

La muestra estuvo en función a las dimensiones de los tratamientos, la misma que fue de 5 m de ancho por 25 m largo (125 m²). Se establecieron 3 repeticiones por cada tratamiento, haciendo un total de 375 m² evaluados por tratamiento.

Resultados

Resultados

Contenido de Carbono en la biomasa aérea.

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P- valor Sig.
Blocks	1,415E9	2	7,074E8	0,269	0,773 N.S.
Tratamientos	5,847E10	3	1,949E10	7,411	0,019 *
Error experimental	1,578E10	6	2,630E9		
Total	7,566E10	11			
Promedio = 150694.23		C.V. = 10.7%		R ² = 79.1%	

Cuadro N° 2: Análisis de varianza para el contenido de Carbono en la biomasa aérea en kg.ha⁻¹

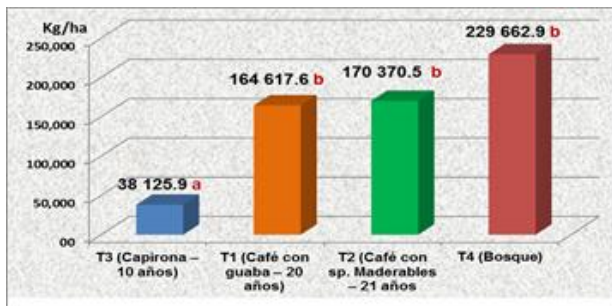


Gráfico N° 4: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa aérea.

➤ El análisis de varianza (Cuadro N° 3) para el contenido de carbono en la biomasa aérea no detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques no representó su eficiencia en el control del error experimental; en la fuente de variabilidad tratamientos se encontró diferencias significativas (P<0.05) por lo que al menos uno de los tratamientos estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los diferentes Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) sobre el contenido de carbono en la biomasa aérea está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R²) en un 79.1%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 10.7% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁴⁾.

➤ Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 4, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa aérea y donde se observa que el T4 (bosque primario) reportó el mayor promedio con 229 662.9 kg.ha⁻¹ de carbono en la biomasa aérea, siendo estadísticamente igual a los tratamientos T2 (Café con sp. Maderables - 21 años) y T1 (Café con guaba - 20 años) quienes obtuvieron promedios de 170 370.5 kg.ha⁻¹, 164 617.6 kg.ha⁻¹ respectivamente y superando estadísticamente al tratamiento T3 (Capirona - 10 años) quien alcanzó un promedio de 38 125.9 kg.ha⁻¹ de carbono en la biomasa aérea. Es importante mencionar que el contenido de carbono en cualquier sistema de uso de la tierra es una función de la edad, el número de componentes establecidos en el sistema (densidad de plantas), de las características nutricionales del suelo, de altitud y latitud, características climáticas, entre otros.

➤ Los Bosques naturales son los principales secuestradores de dióxido de carbono, pero existen otras alternativas de uso de la tierra como los sistemas agroforestales o la reforestación planificada, pasturas bien manejadas con sistemas silvopastoriles, que pueden secuestrar en promedio 95 toneladas de carbono por hectárea en 15 años, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 hectáreas manejadas con sistemas tradicionales” ⁽¹⁾.

➤ Según el ICRAF (International Council for Research in Agroforestry) “La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción

de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos 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 que son compatibles con las prácticas culturales de la población local” ⁽⁴⁸⁾.

Contenido de Carbono en biomasa herbácea y arbustiva

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P-valor Sig.
Blocks	123,653	2	61,826	,008	0,992 N.S.
Tratamientos	552007,658	3	184002,553	24,731	0,001 **
Error experimental	44641,332	6	7440,222		
Total	596772,643	11			

Cuadro N° 3: Análisis de varianza para el contenido de Carbono en la biomasa herbácea y arbustiva en kg.ha⁻¹



Gráfico N° 5: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva.

➤ El análisis de varianza (Cuadro N° 4) para el contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva no detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques no representó su eficiencia en el control del error experimental; en la fuente de variabilidad tratamientos se encontró diferencias altamente significativas (P≤0.01) por lo que al menos uno de los tratamientos estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los diferentes Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) sobre el contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R²) en un 92.5%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 26.2% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁴⁾.

➤ Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 5, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva y donde se observa que el T2 (Café con sp. Maderables - 21 años) reportó el mayor promedio con 653.4 kg.ha⁻¹ de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (Café con guaba - 20 años), T4 (bosque) y T3 (Capirona - 10 años) quienes obtuvieron

promedios de 376.3 kg.ha⁻¹, 208.4 kg.ha⁻¹ y 80.0 kg.ha⁻¹ de carbono respectivamente.

Contenido de Carbono en hojarasca

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P-valor Sig.
Blocks	74003,539	2	37001,769	0,719	0,525 N.S.
Tratamientos	6691353,127	3	2230451,042	43,317	0,000 **
Error experimental	308948,576	6	51491,429		
Total	7074305,241	11			
Promedio = 1200.74		C.V. = 18.9%		R ² = 95.6%	

Cuadro N° 4: Análisis de varianza para el contenido de Carbono en la hojarasca kg.ha⁻¹

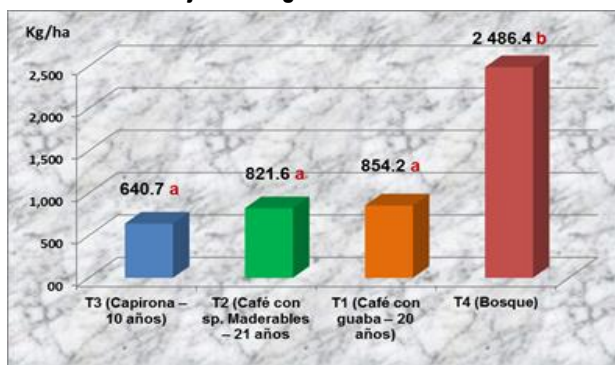


Gráfico N° 6: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la hojarasca.

➤ El análisis de varianza (Cuadro N° 5) para el contenido de carbono en la hojarasca no detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques no representó su eficiencia en el control del error experimental; en la fuente de variabilidad tratamientos se encontró diferencias altamente significativas (P<0.01) por lo que al menos uno de tratamiento estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los diferentes Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) sobre el contenido de carbono en la hojarasca está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R²) en un 95.6%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 18.9% es aceptable para las condiciones del experimento (44).

➤ Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 6, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en la hojarasca y donde se observa que el T4 (bosque primario) reportó el mayor promedio con 2 486.4 kg.ha⁻¹ de carbono en la hojarasca, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (Café con guaba - 20 años), T2 (Café con sp. Maderables - 21 años) y T3 (Capirona - 10 años) quienes obtuvieron promedios de 854.2 kg.ha⁻¹, 821.6 kg.ha⁻¹ y 640.7 kg.ha⁻¹ de carbono en la hojarasca respectivamente.

➤ Lapeyre, Alegre y Arévalo (2004), determinó las reservas en sistemas de bosque primario, secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas típicos de la zona:

Maíz (*Zea mays*), arroz (*Oriza Sativa*) y pastos (*Brachiarias*) y en sistemas agroforestales (café (*Coffea arabica*) bajo sombra y cacao (*Theobroma cacao L.*), en cada uno de éstos sistemas se establecieron al azar cinco transectos donde se evaluó la biomasa arbórea; dentro de éstos transectos se establecieron cuadrantes también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. El carbono total en el bosque primario fue de 485 tn C.ha⁻¹, habiéndose reducido las reservas en más de 50% con el bosque secundario de 50 años (234 tn C.ha⁻¹). El bosque descremado de 20 años perdió más del 80% de reservas (62 tn C.ha⁻¹). Se observó que los sistemas boscosos alterados, difícilmente recuperan sus reservas de carbono y mucho más si son frecuentemente perturbados, como se observó en el bosque secundario de 20 años (8).

➤ El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Así mismo se constata que la dispersión en los datos de sistemas boscosos no perturbados es mucho mayor que aquellos perturbados y más que sistemas agroforestales y agrícolas. Los sistemas agroforestales presentaron 19 y 47 tn C.ha⁻¹, dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo; sistemas que si bien no llegan a tener las reservas de carbono de los sistemas boscosos naturales, ayudan a recuperar el potencial de captura en forma productiva, ya que los sistemas agrícolas puros no llegan a capturar ni 5 tn C.ha⁻¹, además los sistemas agrícolas pueden generar fugas de gases efecto invernadero (GEI) cuando se usan agroquímicos y quema de rastrojos, entre otros.

Contenido de Carbono en el suelo.

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P-valor Sig.
Blocks	3,401E7	2	1,700E7	0,510	0,624 N.S.
Tratamientos	1,749E9	3	5,829E8	17,494	0,002 **
Error experimental	1,999E8	6	3,332E7		
Total	1,983E9	11			
Promedio = 28871.33		C.V. = 6.3%		R ² = 89.0%	

Cuadro N° 5: Análisis de varianza para el contenido de Carbono en el suelo en kg.ha⁻¹ a 10 cm de profundidad

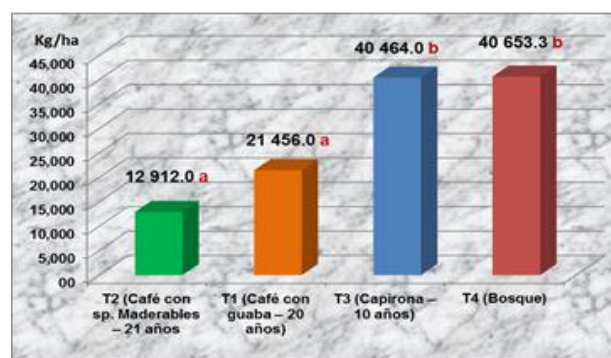


Gráfico N° 7: Prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0.05) para promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en el suelo.

➤ El análisis de varianza (Cuadro N° 6) para el contenido de carbono en el suelo no detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques no representó su eficiencia en el control del error experimental; en la fuente de variabilidad tratamientos se encontró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) por lo que al menos uno de tratamientos estudiados fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los diferentes Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) sobre el contenido de carbono en el suelo a 10 cm de profundidad está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R^2) en un 89.0%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 6.3% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁴⁾.

➤ El cambio climático es una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido su posible impacto negativo sobre la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía, los recursos naturales y la infraestructura física (Eguren, 2004). El cambio climático es causado por el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, especialmente dióxido de carbono (CO_2). Gran parte del CO_2 emitido a la atmósfera proviene del cambio de uso de la tierra, la deforestación en zonas tropicales, el uso de combustibles fósiles y la producción de cemento en países desarrollados (Brown y Lugo 1992, Dixon 1995). Los sistemas agroforestales (SAF) pueden fijar y almacenar entre 12 y 228 t C ha⁻¹, incluyendo el carbono orgánico del suelo, lo cual representa entre el 20 y 46% del carbono secuestrado en bosques primarios ^(48,49).

➤ Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico 4 presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en el suelo y donde se observa que los tratamientos T4 (bosque) y T3 (Capirona – 10 años) resultaron ser estadísticamente iguales entre si y reportaron los mayores promedios con 40 653.3 kg.ha⁻¹ y 40 464.0 kg.ha⁻¹ de carbono en el suelo respectivamente, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (Café con guaba – 20 años) y T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) quienes obtuvieron promedios de 21 456.0 kg.ha⁻¹ y 12 912.0 Kg.ha⁻¹ de carbono respectivamente.

Contenido total promedio de Carbono

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	G.L.	Media cuadrática	F.C.	P- valor Sig.
FA: SUT	1,415E10	3	4,715E9	8,658	0,000 **
FB: Estratos	1,841E11	3	6,138E10	112,705	0,000 **
FA * FB	4,608E10	9	5,120E9	9,401	0,000 **
Error experimental	1,743E10	32	5,446E8		
Total	2,618E11	47			
Promedio = 45273.95		C.V. = 16.3%		$R^2 = 93.3\%$	

Cuadro N° 6: Análisis de varianza para el Contenido total promedio de Carbono en kg.ha⁻¹

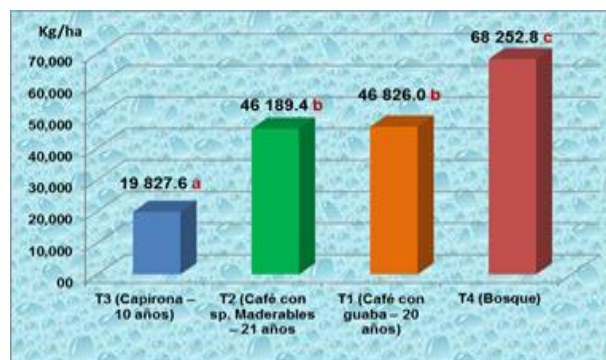


Gráfico N° 8: Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para promedios de tratamientos respecto al contenido total de carbono en los diferentes SAFs.

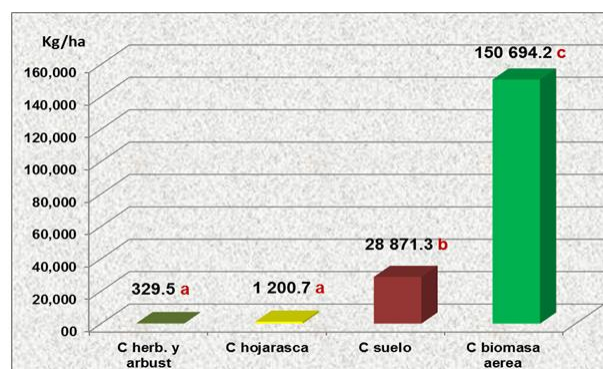


Gráfico N° 9: Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para promedios de tratamientos respecto al contenido total de carbono en los diferentes estratos.

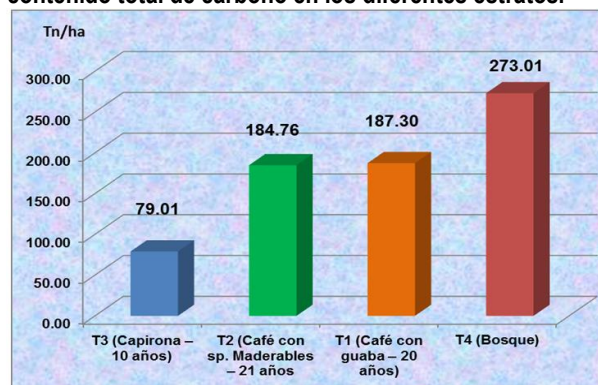


Gráfico N° 10: Contenido promedio total acumulado de carbono en los diferentes sistemas de uso de la Tierra.

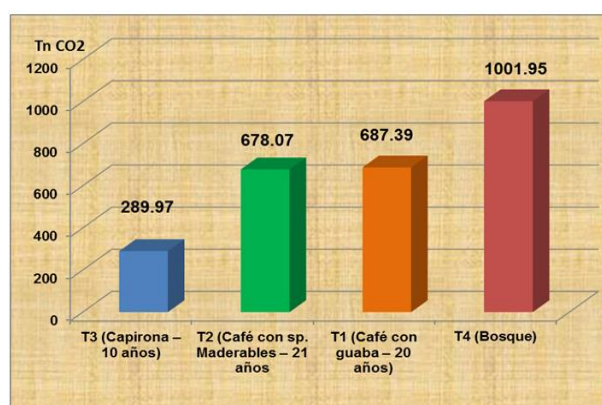


Gráfico N° 11: Contenido promedio total acumulado de CO_2 secuestrado en los diferentes sistemas de uso de la Tierra.

- El análisis de varianza (Cuadro N° 7) para el contenido de carbono total detectó diferencias significativas entre los bloques, lo que se interpreta que el arreglo de los bloques si representó su eficiencia en el control del error experimental, las fuentes de variabilidad FA: SAFs, FB: C en estratos y Fa*FB si se detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) por lo que al menos uno de tratamiento estudiados factor estudiado fue diferente estadísticamente a los demás. El efecto de la acción de los niveles del Factor A: Sistemas de uso de la tierra (SAFs y Bosque) y de los niveles del Factor B: Carbono en estratos sobre el contenido total de carbono está muy bien explicada por el Coeficiente de Determinación (R^2) en un 93.3%. Estos resultados son confiables toda vez que el coeficiente de variación (C.V.) de 16.3% es aceptable para las condiciones del experimento ⁽⁴⁴⁾.
- Es importante manifestar que los servicios ecosistémicos se expresan enteramente en los sistemas de uso de la tierra con bosques naturales, plantaciones forestales y sistemas agroforestales en sus diferentes modalidades y combinaciones. Particularmente el uso de la tierra con plantaciones de café bajo sombra tiene ventajas iniciales y que otros cultivos no las tienen. Los cafetos son plantas leñosas y que asociación con árboles de diferente índole fijan y mantienen retenida una importante cantidad de carbono en su ecosistema, así mismo, se reduce considerablemente las actividades de quema de los rastrojos, lo que permite una mayor expresión y magnificación de los servicios ambientales. Resumiendo los servicios ambientales de los sistemas agroforestales, podemos indicar que regulan el intercambio gaseoso, regulan el clima, regulan la oferta hídrica, control de erosión (retención de sedimentos), formación de suelos, reciclaje de nutrientes, polinización, control biológico, mantenimiento de biodiversidad y belleza escénica, paisaje, territorio (recreación, cultura).
- Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 8, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en los diferentes SAFs evaluados y donde se observa que el tratamiento T4 (bosque primario) reportó el mayor promedio con 68 252.8 kg.ha⁻¹ de carbono total de carbono, superando estadísticamente a los tratamientos T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T3 (Capirona – 10 años) quienes obtuvieron promedios de 46 826.0 kg.ha⁻¹, 46 189.4 kg.ha⁻¹ y 19 827.6 Kg.ha⁻¹ de carbono total promedio respectivamente.
- Con los promedios ordenados de menor a mayor, el gráfico N° 9, presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$) para los promedios de tratamientos respecto al contenido de carbono en los diferentes estratos (hojarasca, herbácea – arbustiva, árboles vivos – muertos y suelo) evaluados y donde se observa que el tratamiento T1 (C en biomasa aérea) reportó el mayor promedio con 150 694.2 kg.ha⁻¹ de carbono total promedio, superando estadísticamente a los tratamientos T4 (C en el suelo), T3 (C en hojarasca) y T2 (C en biomasa herbácea y arbustiva) quienes obtuvieron promedios de 28 871.3 kg.ha⁻¹, 1 200.7 kg.ha⁻¹ y 329.5 Kg.ha⁻¹ de carbono total promedio respectivamente.
- Una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂ (obtenido en función de los pesos moleculares del carbono y del CO₂, de 12 / 44). Para saber la cantidad de CO₂ emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se debe multiplicar ésta por 3,67. A su vez, una tonelada de biomasa forestal posee aproximadamente entre 0.45 a 0.55 toneladas de carbono, por lo que los cálculos del CO₂ fijados en Tn se derivaron de multiplicar los contenidos totales acumulados de carbono por 3.67 y divididos entre 1,000 para transformarlos en toneladas.
- El gráfico N° 10 presenta los promedios totales acumulado de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra, donde el T4 (Bosque primario) alcanzó el mayor contenido acumulado de Carbono con 273.01 Tn-ha⁻¹ lo que representa 1001.05 Tn de CO₂ fijado en el sistema (gráfico N° 11). Los tratamientos (sistemas de uso de la tierra) T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T3 (Capirona – 10 años) alcanzaron contenidos de carbono acumulado de 187.3 Tn-ha⁻¹, 184.76 Tn-ha⁻¹ y 79.01 Tn-ha⁻¹ respectivamente y lo que representa 687.39, 678.07 y 289.97 Tn de CO₂ fijado en el sistema respectivamente (gráfico N° 11).
- Los resultados obtenidos en el presente estudio, se asemejan mucho a los resultados obtenidos en los estudios de COOCAFE (2008) que determinaron que en 2001 los sistemas agroforestales con café en El Salvador presentan los siguientes valores de almacenamiento de carbono: sistema rústico (174 Tn.ha⁻¹); sistema tradicional (101 Tn.ha⁻¹); bosque (196 Tn.ha⁻¹); moderno (118 Tn.ha⁻¹); comercial (76 Tn.ha⁻¹) ⁽⁵⁰⁾.
- Las primeras estimaciones de carbono almacenado en sistemas agroforestales en café en Guatemala, encontrando el valor promedio general de 91,64 ton C.ha⁻¹ para las siete regiones de producción del país. Para el caso de Costa Rica uno de los primeros estudios fue el realizado por Fournier (citado por ANACAFE, 1998) en los años noventa, donde encontró que un sistema agroforestal con café (árboles, cafetos, hierbas del suelo, hojarasca y materia orgánica del suelo) tenía 198 toneladas de carbono/hectárea ⁽⁵¹⁾.
- 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 vegetal seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar de 150 y 382 tn.ha⁻¹, por lo tanto el carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 tn.ha⁻¹ ⁽⁵¹⁾.

Conclusiones

- En el Bosque (T4) se reportó los mayores contenidos de carbono en la biomasa aérea (árboles vivos y muertos)

con 1 096 326.5 kg.ha⁻¹ y con 2 486.4 kg.ha⁻¹ de carbono en la hojarasca.

- Respecto al contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva, el SAF Café con guaba – 20 años (T1) reportó el mayor promedio con 1 176.4 kg.ha⁻¹ de carbono.
- En el suelo, los tratamientos T4 (bosque) y T3 (Capirona – 10 años) resultaron ser estadísticamente iguales entre si reportando los mayores promedios con 40 653.3 kg.ha⁻¹ y 2 486.4 kg.ha⁻¹ de carbono en el suelo respectivamente.
- En relación al contenido total de carbono en los diferentes SAFS, el tratamiento T1 (Café con guaba – 20 años) reportó el mayor promedio con 409 026.8 kg.ha⁻¹ de carbono total.
- Respecto al contenido total de carbono en los diferentes estratos, el tratamiento T4 (C en el suelo) reportó el mayor promedio con 284 918.78 kg.ha⁻¹ de C total.
- La evaluación del contenido de Carbono acumulado en el Bosque primario alcanzó el mayor valor con 273.01 Tn-ha⁻¹ lo que representa 1001.05 Tn de CO₂ fijado en el sistema. Los tratamientos (sistemas de uso de la tierra) T1 (Café con guaba – 20 años), T2 (Café con sp. Maderables – 21 años) y T3 (Capirona – 10 años) alcanzaron contenidos de carbono acumulado de 187.3 Tn-ha⁻¹, 184.76 Tn-ha⁻¹ y 79.01 Tn-ha⁻¹ respectivamente y lo que representa 687.39, 678.07 y 289.97 Tn de CO₂ fijado en cada ecosistema (sistema de usos de la tierra) respectivamente.

Recomendaciones

- La conservación y protección de los bosques por la capacidad de captura de CO₂, diseñando estrategias de estímulos a los pequeños agricultores asentados en la parte media y alta del río Cumbaza que cuentan con áreas boscosas.
- La gobernación Regional, los gobiernos provinciales de San Martín y Limas, y los gobiernos distritales que conforma la Mancomunidad del Cumbaza, deben considerar en su Plan Estratégico objetivos y estrategias que orienten a reducir la presión a las zonas boscosas, así como de hacer cumplir la normatividad vigente que garantice la intangibilidad de la faja marginal del río Cumbaza, consideradas como la gran esponja hídrica de abastecimiento de agua a toda la mancomunidad para diversos usos.
- Los SAFs como sistemas de usos de la tierra que capturan cerca de las 2 cuartas partes de CO₂, con relación a un sistema boscoso natural, debe ser impulsado como política de desarrollo agrario en la región por las condiciones edafoclimáticas, como alternativa ecológica y económica de los pequeños agricultores asentados en zonas de laderas de aptitud forestal.
- En los Sistemas Agroforestales se recomienda asociar especies forestales, frutales y medicinales, que permita obtener diversos productos y beneficios del sistema, orientados a la seguridad alimentaria de las familias, así

como para fines comerciales. Adicionalmente se puede aprovechar con fines de crédito de bonos de carbono, en el marco de los acuerdos de la COP 20.

- Las instituciones de desarrollo deben impulsar estrategias para evaluar la rentabilidad de los SAFs en la sub cuenca del Cumbaza y subvencionar los costos de certificación del servicio de captura de carbono en pequeños agricultores.
- La cooperativa Oro Verde, ubicada en la provincia de Lamas, de la cual son socios/as los/as agricultores cafetaleros de la sub cuenca del Cumbaza, la misma que cuenta con una buena base orgánica, debe analizar la viabilidad de invertir en la certificación de emisiones reducidas como parte del servicio hacia sus asociados/as, lo que podría generar una mayor rentabilidad de la parcela con un compromiso ambiental desde sus asociados/as.

Referencia Bibliográfica

- 1 Arévalo y Guzmán (2003). "Servicios ambientales de almacenamiento de carbono como activo para el desarrollo de la Amazonia Peruana: avances y retos." SEPIA X (Tema III : La diversidad como activo para el desarrollo)
- 2 Calderón y Cordeloro (1982). Citado por Chappa, Gallusser y Tenorio. Sistemas productivos en la Región San Martín. SEPIA XII, Perú, el problema Agrario en Debate. Tarapoto, 13 al 16 de agosto 2007.
- 3 Censo Nacional 2007: XI de población y VI de vivienda.
- 4 Compendio Estadístico Perú 2014.
- 5 Nye, P.H. y Greenland, D.J. 1960. Los suelos bajo la agricultura migratoria.
- 6 Alegre y Cassel (1996). Dinámica de las propiedades físicas del suelo en sistemas alternativos a la tala y quema. La agricultura, los ecosistemas para el Medio Ambiente.
- 7 Hidalgo C (2011). Determinación de reservas totales de Carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María.
- 8 Lapeyre T., Alegre J. & Arévalo L. (2004). Determinación de las Reservas de Carbono de la Biomasa Aérea en diferentes sistemas de uso de tierra en San Martín, Perú.
- 9 Callo-Concha, Krishnamurthy y Alegre (2001). Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF'S y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonía del Perú.
- 10 Alegre, J., L. Arévalo y A. Ricse., J. Barbarán y C. Palm. (2001). Reservas de carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en los sitios de la Amazonía Peruana Symposium Internacional de Agroforestería. Manaus, Brazil EMBRAPA 21-24 de noviembre 2000. 15 p.
- 11 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático – CMNUCC, Río de Janeiro (1992).
- 12 Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático – GIECC (2007). 91 pág.
- 13 IPCC Cambio climático (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A.

- (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- 14 Maisonnave R, (1997). Conferencia realizada para la Academia Nacional de Ingeniería, el día 28 de octubre en el Salón de Actos del Ministerio de Educación y Cultura.
 - 15 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, (1996). Cumbre Mundial sobre la Alimentación del 13 al 17 de noviembre, Roma, Italia.
 - 16 Dixon; R. K. (1995). Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31: 99-116.
 - 17 VENEGAS, S. (2003). Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada. Universidad Centroamérica, Facultad de ciencia, Tecnología y ambiente. Managua – Nicaragua. 37 p.
 - 18 Masera *et al.* (1997). Dinámica de cambio de uso del suelo y emisiones de carbono en la Meseta Purepecha, México, 25 pág. Citado por Gamarra J. Estudio sobre estimación del contenido de carbono en plantaciones de Eucalyptus, (*Globulus labill*), Junín 2001.
 - 19 Ortiz A, Riascos L, Somarriba E, (2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*)
 - 20 Senayake R., Gamboa L. (2003). Fortaleciendo de Relaciones Comunitarias: Intercambio Internacional para el Manejo de los Recursos Naturales. Taller de Desarrollo en la Economía Local desde un enfoque de Forestaría Análoga: Sri Lanka y Ecuador. Santa María Huatulco, México, 9 -15 de Noviembre 2003. 41 p. Citado por Rocha J., Captura de Dióxido de Carbono.
 - 21 López, 1980. Citado por Peter *et al.*, (2002). Proyectos de investigación aplicada a los recursos forestales nativos – Captura de Carbono, Argentina – Banco Mundial, 15 p.
 - 22 Jandl (2003). Centro de investigación forestal. Secuestro de carbono en bosques – El papel del suelo, Viena, Australia, 62 p.
 - 23 Dixon; R. K., Browns, S., Houghton R. A., Solomon A.M., Trexler M. C. y Wisniwski J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 180-190.
 - 24 Chaturveni, A. N. (1994). Sequestration of atmospheric carbon in India's forest. *Ambio* 23: 461.
 - 25 Gayoso (2006). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile, 22 p.
 - 26 Brack. *et al.* 1985 Sistemas Agroforestales e importancia de la agroforestería en el Desarrollo de la Selva Central. INFOR-GTZ, San Ramón. 180 p.
 - 27 Brack, (1992). Experiencias agroforestales en la Cuenca Amazónica, tratado de Cooperación Amazónica. TCA. Secretaría pro tempore. CEPIS/OPS.
 - 28 CHAPPA S.M.; C.E. (2007). Estudio de sistemas de producción practicado por pequeños agricultores del Bosque Seco tropical en la Selva Alta Peruana. Tesis de maestría por sustentar en la Universidad de Chile. (54 pp.)
 - 29 Ordóñez J, de Jong B, Masera O, (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán, Madera y Bosques, México, vol. 7, núm. 2, pp. 27-47
 - 30 <http://www.cecyl3.ipn.mx/actividades-online/quimica2/CARBONO.pdf>
 - 31 <http://cambioclimaticoglobal.com/dioxido>.
 - 32 <http://www.plantasdebiomasa.net/index.php/que-es-la-biomasa>.
 - 33 Camacho H. L. (1992). Mediciones del Componente Arbóreo: Cercas Vivas y Cortinas Rompevientos.
 - 34 <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/12EcosPel/120DivBiol.htm>
 - 35 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA.
 - 36 <http://www.cop20.pe/3885/glosario-de-conceptos/>
 - 37 Organización de las Naciones Unidas, 2012.
 - 38 <http://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/captura-carbono.htm>
 - 39 <http://www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro.php>
 - 40 <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/quees.html>
 - 41 <http://www.madrimas.org/blogs/universo/2007/12/04/80294>
 - 42 <http://www.plenitudpr.org/agroforesteriacutea.html>
 - 43 http://www.ehowenespanol.com/ecosistema-sostenible-hechos_341565/
 - 44 CESVI – Cooperazione e Sviluppo (2002). Guía práctica de inventarios forestales al 100% para concesiones forestales. Proyecto “Manejo Sostenible de los Recursos Forestales en la Provincia de Tahuamanu, Madre de Dios, Perú”.
 - 45 Hernández R. Fernández C. y Baptista P. (1999) Metodología de la Investigación – segunda edición. Mc GRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. 06450 México D.F. 50.
 - 46 Hernández Sampieri, *et al.*, (1998). Metodología de la investigación, tercera edición.
 - 47 Calzada, Benza J. (1982). “Métodos estadísticos para la investigación”. Editorial Milagros S.A. Lima –Perú. 664 p.
 - 48 <http://investigacion.upeu.edu.pe/images/7/74/Validez.pdf>
 - 49 ICRAF, 2003. Arevalo L, Alegre J, Palm Cheryl. Manual de Determinación de las Reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de Uso de la Tierra en Perú.
 - 50 Alegre, J., Ricse A, Arévalo, Barbarán J, Palm C. (2000). Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo 12:8-9.
 - 51 COOCAFE- Consorcio de Cooperativas de Caficultores de Guanacaste y Montes de Oro (2008). Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de carbono, Costa Rica.

4.7 Anexos

Gráficos, cuadros, imágenes

4.7.1: Aplicación de fórmulas biométricas (Arévalo et al. 2003).

Biomasa Arbórea Viva:

Cálculo de Biomasa vegetal (BA)

BA = fórmula estándar

$$BA = 0.1184 \text{ DAP} ^{2.53}$$

DAP = Diámetro a la altura del pecho

0.1184 y 2.53 = constantes

BA = biomasa de árboles vivos y árboles muertos en pie.

Biomasa Arbórea Viva Total (BAVT)

$$\text{BAVT (TM/ha.)} = \text{BTAV} \cdot 0.1 \text{ o}$$

$$\text{BAVT (TM/ha.)} = \text{BTAV} \cdot 0.2$$

Donde:

BTAV = biomasa total en la parcela 4m*25m o en la parcela de 5m* 100m.

0.1 se usa cuando la parcela es de 4m *25m.

0.2 se usa cuando la parcela es de 5 *100m.

Para árboles caídos muertos = BACM = $0.4 \text{ DAP}^2 \text{ L } 0.25\pi$

DAP = Diámetro a la altura del pecho

L = Largo del tronco

$$\pi = 3.1416$$

0.4 y 0.25 = constantes

Cálculo de la biomasa arbustiva herbácea y hojarasca(TM/Ha)

BAH (TM/ha.) se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{BAH (TM/ha.)} = ((\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}) * 0.01$$

Donde,

BAH = biomasa arbustivo/ herbácea, materia seca.

PSM = peso seco de la muestra colectada

PFM = peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco de la muestra colectada

0.01 = factor de conversión para herbácea

0.04 = factor de conversión para hojarasca

Cálculo del contenido de carbono en la biomasa vegetal

CC = B x 0.45, donde B = Biomasa vegetal

Cálculo del carbono total:

$$\text{CB} = \text{CAb} + \text{CAVHB} + \text{CH}$$

CB = Carbono biomasa

CAb = Carbono arbóreo

CAVHB = Carbono arbustivo y herbáceo

CH = Carbono hojarasca

4.7.2: Datos de Campo por Parcela

Cuadro N° 7: Tratamiento 1

HOJA DE TRABAJO N° 1							
ARBOLES VIVOS							
SISTEMA DE USO DE LA TIERRA: CAFÉ, AGROFORESTAL							
TAMAÑO DE PARCELA O TRANSECTO: 5m x 25m				DISTANCIAMIENTO: 1.8 X 1.8 m			
SECTOR: CHUNCHIWI							
FORMULA DE BIOMASA ARBOLES VIVOS: $0.1184 \cdot \text{DAP}^2 \cdot 5.3$							
PROPIETARIO: TOVÍAS YALTA ROMERO							
UBICACION UTM	TRANSECTO	NOMBRE VULGAR	N.C	DAP cm.	DENSIDAD ESPECIE VALOR	BIOMASA Kg/arb	BIOMASA Kg.
					gr/cm ³		
X = 339443 Y = 9294232 Z = 723	1	Macambo	<i>Theobroma bicolor</i>	28.10	0.42	547.75	
		Cairito	<i>Pouteria sp.</i>	10.17	0.75	41.87	
		Guaba R1	<i>Inga edulis Mart</i>	32.20	0.59	773.08	
		Guaba R2	<i>Inga edulis Mart</i>	33.00	0.59	822.61	
SUB TOTAL							2,185.30
X = 339351 Y = 9294212 Z = 734	2	Rufindi	<i>Inga marginata</i>	39.90	0.55	1329.88	
		Guaba R1	<i>Inga edulis Mart</i>	14.00	0.59	93.98	
		Guaba R2	<i>Inga edulis Mart</i>	21.00	0.59	262.16	
		Guaba		18.00	0.59	177.50	
SUB TOTAL							1,863.52
X = 339244 Y = 9294187 Z = 741	3	Ojé blanco	<i>Ficus anthelmintica Mart.</i>	37.50		1136.71	
		Guaba	<i>Inga edulis Mart</i>	19.70	0.59	223.02	
		Rufindi R1	<i>Inga marginata</i>	52.20	0.55	2624.57	
		Rufindi R2	<i>Inga marginata</i>	33.80	0.55	874.00	
		Rifindi R1	<i>Inga marginata</i>	44.10	0.55	1713.09	
		Rufindi R2	<i>Inga marginata</i>	45.00	0.55	1802.93	
SUB TOTAL							8,374.33
TOTAL							12,423.16

Fuente: Elaboración tesista

Cuadro N° 8: Tratamiento 2

HOJA DE TRABAJO No 1							
ARBOLES VIVOS							
SISTEMA DE USO DE LA TIERRA: CAFÉ, SECTOR INGAINAL				DISTANCIAMIENTO: 1.8 X 1.8 m			
TAMAÑO DE PARCELA O TRANSECTO: 5m x 25m							
SECTOR: SAN ROQUE							
FORMULA DE BIOMASA ARBOLES VIVOS: 0.1184*DAP^2.53							
PROPIETARIO: JAIME ROMERO RENGIFO							
UBICACION UTM	TRANSECTO	NOMBRE VULGAR	N.C	DAP cm.	DENSIDAD ESPECIE VALOR	BIOMASA Kg/arb	BIOMASA Kg.
					gr/cm ³		
X = 341493 Y = 9293675 Z = 584	1	Macambo	<i>Theobroma bicolor</i>	2.50	0.42	1.20	
		Pucaquiro	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	5.80	0.64	10.11	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	2.50	0.74	1.20	
		Sangre de grado	<i>Croton lechleri</i>	19.80	0.43	225.90	
		Mojarra caspi	<i>Alchomea triplinervis</i>	13.00	0.47	77.92	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	13.00	0.74	77.92	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	6.80	0.74	15.12	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	6.70	0.74	14.57	
		Purma caspi	<i>Aegiphila aff. Spicata (Vernonia sp)</i>	11.40	0.54	55.89	
		Macambo	<i>Theobroma bicolor</i>	15.10	0.42	113.81	
		Macambo	<i>Theobroma bicolor</i>	18.20	0.42	182.53	
		Pucaquiro	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	14.00	0.64	93.98	
		Caimito	<i>Pouteria caimito</i>	15.50	0.75	121.59	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	18.40	0.74	187.65	
		Umari	<i>Poraqueiba sericea</i>	12.60	0.78	71.99	
		Purma caspi	<i>Aegiphila aff. spicata</i>	13.50	0.54	85.72	
SUB TOTAL							1,337.09
X = 341432 Y = 9293727 Z = 585	2	Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	29.10	0.74	598.41	
		Moena amarilla	<i>Aniba amazonica Meiz</i>	14.90	0.56	110.03	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	11.80	0.74	60.98	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	10.30	0.74	43.23	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	9.40	0.74	34.31	
		Moena amarilla	<i>Aniba amazonica Meiz</i>	17.90	0.56	175.01	
		Taperival	<i>Spondias dulcis Parkinson</i>	16.80	0.39	149.07	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	14.00	0.74	93.98	
		Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.30	0.42	43.23	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	24.60	0.74	391.22	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	29.40	0.74	614.14	
		Pucaquiro	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	10.70	0.64	47.61	
		Yacu shimbillo	<i>Inga sp</i>	25.70	0.58	437.00	
		Yacu shimbillo	<i>Inga sp</i>	26.70	0.58	481.31	
		Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.80	0.42	29.03	
		Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	8.00	0.42	22.81	
SUB TOTAL							3,331.39
X = 341420 Y = 9293813 Z = 585	3	Macambo	<i>Theobroma bicolor</i>	12.20	0.42	66.35	
		Pucaquiro	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	10.30	0.64	43.23	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	6.90	0.74	15.69	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	10.20	0.74	42.18	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	27.00	0.74	495.11	
		Shaina	<i>Colubrina glandulosa</i>	21.00	0.74	262.16	
		Purma caspi	<i>Aegiphila aff. spicata</i>	12.50	0.54	70.56	
		Mojarra caspi	<i>Alchomea triplinervis</i>	9.30	0.47	33.39	
		Pucaquiro	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	13.40	0.64	84.13	
		Yacu Shimbillo	<i>Inga sp</i>	26.00	0.58	450.02	
		Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	7.10	0.42	16.87	
		Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	6.80	0.42	15.12	
		Moena amarilla	<i>Aniba amazonica Meiz</i>	15.70	0.56	125.60	
		SUB TOTAL					
TOTAL							6,388.89

Fuente: Elaboración tesista

Cuadro N° 9: Tratamiento 3

HOJA DE TRABAJO No 1							
ARBOLES VIVOS							
SISTEMA DE USO DE LA TIERRA: CAPITONA				DISTANCIAMIENTO: 3 X 3 m			
TAMAÑO DE PARCELA O TRANSECTO: 5m x 25m							
SECTOR: SAN ROQUE							
FORMULA DE BIOMASA ARBOLES VIVOS: 0.1184*DAP^2.53							
PROPIETARIO: DALVIN RUIZ SÁNCHEZ							
UBICACION UTM	TRANSECTO	NOMBRE VULGAR	N.C	DAP cm.	DENSIDAD ESPECIE VALOR	BIOMASA Kg/arb	BIOMASA Kg.
					gr/cm ³		
X = 342151 Y = 9292959 Z = 614	1	Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.50	0.76	26.59	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.00	0.76	40.12	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	11.60	0.76	58.40	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.60	0.76	20.04	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.20	0.76	42.18	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	12.00	0.76	63.63	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	11.80	0.76	60.98	
		Capirona 1	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.80	0.76	29.03	
		Capirona 2	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.70	0.76	20.71	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	11.70	0.76	59.68	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	12.80	0.76	74.92	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	11.30	0.76	54.66	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	9.80	0.76	38.12	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.10	0.76	41.14	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	9.60	0.76	36.18	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.80	0.76	21.40	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	9.30	0.76	33.39	
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.20	0.76	42.18			
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	6.80	0.76	15.12			
SUB TOTAL							778.48
X = 342157 Y = 9292988 Z = 611	2	Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.00	0.76	22.81	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.60	0.76	46.49	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	6.20	0.76	11.97	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.00	0.76	40.12	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	9.10	0.76	31.60	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	4.80	0.76	6.26	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	5.80	0.76	10.11	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	9.40	0.76	34.31	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.90	0.76	29.88	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	6.40	0.76	12.97	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	9.00	0.76	30.73	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	5.60	0.76	9.25	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.70	0.76	28.21	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.10	0.76	16.87	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	5.40	0.76	8.44	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.50	0.76	19.38	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.50	0.76	26.59	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	9.90	0.76	39.11	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	6.20	0.76	11.97	
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.80	0.76	21.40			
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.80	0.76	29.03			
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.30	0.76	18.09			
SUB TOTAL							505.60
X = 342158 Y = 9293031 Z = 614	3	Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.80	0.76	29.03	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.70	0.76	47.61	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	6.20	0.76	11.97	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.00	0.76	16.27	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	12.40	0.76	69.14	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.30	0.76	43.23	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.80	0.76	29.03	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	7.70	0.76	20.71	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	12.30	0.76	67.73	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	11.00	0.76	51.06	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.20	0.76	24.28	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.20	0.76	24.28	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.80	0.76	48.74	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	6.40	0.76	12.97	
		Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.80	0.76	29.03	
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	8.00	0.76	22.81			
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	10.00	0.76	40.12			
SUB TOTAL							588.04
TOTAL							1,872.12

Fuente: Elaboración tesista

Cuadro N° 10: Tratamiento 4

HOJA DE TRABAJO No 1							
ARBOLES VIVOS							
SISTEMA DE USO DE LA TIERRA: BOSQUE PRIMARIO					DISTANCIAMIENTO: 40 Ha		
TAMAÑO DE PARCELA O TRANSECTO: 5m x 25m							
SECTOR: ALTO SAN ROQUE							
FORMULA DE BIOMASA ARBOLES VIVOS: 0.1184*DAP^2.53							
PROPIETARIO: ERNESTO RENGIFO SAAVEDRA							
UBICACION UTM	TRANSECTO	NOMBRE VULGAR	N.C	DAP cm.	DENSIDAD ESPECIE VALOR	BIOMASA Kg/arb	BIOMASA Kg.
					gr/cm ³		
X = 339193 Y = 9295644 Z = 636	1	Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	3.82	0.62	3.52	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	1.91	0.58	0.61	
		Ana caspi	<i>Apuleia leiocarpa</i>	26.90	0.80	490.48	
		Tortilla caspi (Remo caspi)	<i>Aspidosperma excelsum</i>	9.91	0.79	39.21	
		Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	4.14	0.62	4.31	
		Añallo caspi	<i>Cordia alliodora</i>	7.32	0.52	18.22	
		Brea caspi	<i>Caraipa densifolia</i>	3.50	0.64	2.82	
		Añallo caspi	<i>Cordia alliodora</i>	14.96	0.52	111.15	
		Loro micuna	<i>Pseudolmedia sp.</i>	13.05	0.63	78.68	
		Batea caspi	<i>Caraipa densifolia</i>	3.50	0.64	2.82	
		Sierra pashaca	<i>Parkinsonia sp.</i>	4.14	0.6	4.31	
		Tortilla caspi (Remo caspi)	<i>Aspidosperma excelsum Bentham</i>	6.68	0.79	14.46	
		Tortilla caspi (Remo caspi)	<i>Aspidosperma excelsum Bentham</i>	9.87	0.79	38.81	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	2.86	0.67	1.69	
		Batea caspi	<i>Caraipa densifolia</i>	4.77	0.64	6.17	
		Granadilla	<i>Passiflora nitida</i>	6.05	0.52	11.25	
		Yanavarilla	<i>Acalypha macrostachya</i>	3.50	0.8	2.82	
		Tortilla caspi (Remo caspi)	<i>Aspidosperma excelsum Bentham</i>	12.41	0.79	69.28	
		Brea caspi	<i>Caraipa densifolia</i>	3.18	0.64	2.21	
		NN		6.37	0.45	12.82	
		NN		4.14	0.45	4.31	
		NN		5.41	0.45	8.48	
		NN		5.09	0.45	7.27	
		Cedro pashaca	<i>Poeppegia procera</i>	65.25	0.69	4615.73	
		Sierra pashaca	<i>Parkinsonia sp.</i>	9.91	0.6	39.21	
		Añallo caspi	<i>Homalium Sp.</i>	13.05	0.82	78.68	
		Gallo coroto (Hueso de gallo)	<i>Clavija sp.</i>	2.86	0.75	1.69	
		Batea caspi	<i>Caraipa densifolia</i>	2.86	0.64	1.69	
		Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	2.86	0.62	1.69	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	16.23	0.58	136.60	
Yanavarilla	<i>Acalypha macrostachya</i>	2.54	0.8	1.25			
Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	3.18	0.62	2.21			

UBICACION UTM	TRANSECTO	NOMBRE VULGAR	N.C	DAP cm.	DENSIDAD ESPECIE VALOR	BIOMASA Kg/arb	BIOMASA Kg.
					gr/cm ³		
X = 339193 Y = 9295644 Z = 636	1	Quina quina	<i>Lucuma dolichophylla</i>	3.50	0.74	2.82	
		Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	3.50	0.62	2.82	
		Añallo caspi	<i>Homalium Sp.</i>	39.47	0.82	1293.92	
		NN		3.18	0.62	2.21	
		Shamoja	<i>Macrocnemum roseum</i>	7.32	0.45	18.22	
		Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	4.30	0.62	4.74	
		Pino chuncho	<i>Schizolobium amazonicum</i>	53.79	0.49	2831.57	
		Bellaco caspi	<i>Himatantus sucuuba</i>	26.74	0.46	483.14	
		NN		3.18	0.79	2.21	
		Cedro mocoa		44.88	0.69	1790.79	
		Brea caspi	<i>Caraipa densifolia</i>	2.55	0.64	1.26	
		Brea caspi	<i>Caraipa densifolia</i>	3.50	0.64	2.82	
		Sacha chacruna	<i>Psypotria apoda</i>	4.46	0.52	5.20	
		Mullaca	<i>Leandra candelabrum</i>	3.18	0.69	2.21	
		Tortilla caspi (Remo caspi)	<i>Aspidosperma excelsum Bentham</i>	14.96	0.79	111.15	
		Mapiche		3.82	0.79	3.52	
		NN		4.14	0.52	4.31	
		Tortilla caspi (Remo caspi)	<i>Aspidosperma excelsum Bentham</i>	17.83	0.79	173.29	
		Añallo caspi	<i>Homalium Sp.</i>	10.82	0.82	48.97	
		Yanchama	<i>Poulsenia amata</i>	3.5	0.44	2.82	
		Yanavarilla	<i>Acalypha macrostachya</i>	3.5	0.8	2.82	
		Leche caspi	<i>Couma macrocarpa</i>	2.13	0.55	0.80	
		Añallo caspi	<i>Homalium Sp.</i>	38.83	0.82	1241.50	
		NN		2.86	0.82	1.69	
		Tortilla caspi (Remo caspi)	<i>Aspidosperma excelsum Bentham</i>	8.28	0.79	24.89	
		Añallo caspi	<i>Homalium Sp.</i>	9.87	0.82	38.81	
		Quina quina	<i>Lucuma dolichophylla</i>	4.77	0.74	6.17	
Pashaco	<i>Schizolobium excelsum</i>	4.77	0.40	6.17			
SUB TOTAL							13,925.25

UBICACION UTM	TRANSECTO	NOMBRE VULGAR	N.C	DAP cm.	DENSIDAD ESPECIE VALOR	BIOMASA Kg/arb	BIOMASA Kg.
					gr/cm ³		
X = 339262 Y = 9295742 Z = 692	2	Shamoja	<i>Macrocnemum roseum</i>	3.5	0.45	2.82	
		Barbasco caspi	<i>Himatantus sucuuba</i>	4.45	0.46	5.17	
		Pamashto	<i>Enterolobium sp.</i>	4.77	0.54	6.17	
		NN		3.18	0.69	2.21	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	3.02	0.58	1.94	
		Pretina caspi	<i>Virola duckei</i>	18.14	0.48	181.01	
		Mullaca	<i>Leandra candelabrum</i>	2.2	0.69	0.87	
		NN		2.55	0.54	1.26	
		Pamashto	<i>Enterolobium sp.</i>	4.14	0.54	4.31	
		Quina quina	<i>Lucuma dolichophylla</i>	12.41	0.74	69.28	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	63.34	0.58	4281.51	
		Pamashto	<i>Enterolobium sp.</i>	3.18	0.54	2.21	
		Shacha vaca (Shawinto)		16.56	0.79	143.74	
		NN		51.57	0.67	2545.17	
		Goma pashaco (Goma huayo)	<i>Parkia igneiflora</i>	2.86	0.47	1.69	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	3.18	0.67	2.21	
		NN		4.46	0.79	5.20	
		Sacha chacruna	<i>Psyplotria apoda</i>	4.46	0.52	5.20	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	2.23	0.58	0.90	
		Quina quina	<i>Lucuma dolichophylla</i>	10.82	0.74	48.97	
		Quina quina	<i>Lucuma dolichophylla</i>	2.86	0.74	1.69	
		NN		2.86	0.79	1.69	
		Cumala	<i>Virola sp.</i>	4.14	0.48	4.31	
		NN		4.14	0.79	4.31	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	2.86	0.58	1.69	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	52.2	0.58	2624.57	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	2.23	0.58	0.90	
		NN		4.77	0.79	6.17	
		NN		2.86	0.79	1.69	
		Quina quina	<i>Lucuma dolichophylla</i>	4.77	0.74	6.17	
		Barbasco caspi	<i>Himatantus sucuuba</i>	2.86	0.46	1.69	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	38.83	0.58	1241.50	
		NN		2.86	0.79	1.69	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	2.55	0.67	1.26	
		NN		2.55	0.79	1.26	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	2.86	0.58	1.69	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	2.39	0.58	1.07	
		Sacha chacruna	<i>Psyplotria apoda</i>	2.86	0.52	1.69	
		Quina quina	<i>Lucuma dolichophylla</i>	4.14	0.74	4.31	
		Cumala	<i>Virola sp.</i>	14.96	0.48	111.15	
		Pedo caspi		6.37	0.79	12.82	
		NN		2.86	0.79	1.69	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	14.64	0.58	105.24	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	3.18	0.67	2.21	
		Yanahuasca	<i>Duguetia sp.</i>	3.02	0.91	1.94	
		Pedo caspi		2.23	0.79	0.90	
		Pedo caspi		5.41	0.79	8.48	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	7	0.58	16.27	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	7	0.58	16.27	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	3.82	0.58	3.52	
Moena	<i>Aniba sp</i>	4.77	0.67	6.17			
Quina quina	<i>Lucuma dolichophylla</i>	3.18	0.74	2.21			
NN		3.82	0.79	3.52			
NN		28.33	0.79	559.16			
Mashonaste	<i>Clarisia racemosa</i>	48.7	0.56	2201.91			
Moena	<i>Aniba sp</i>	3.82	0.67	3.52			
NN		2.86	0.79	1.69			
SUB TOTAL							14,279.85

UBICACION UTM	TRANSECTO	NOMBRE VULGAR	N.C	DAP cm.	DENSIDAD ESPECIE VALOR	BIOMASA Kg/arb	BIOMASA Kg.
					gr/cm ³		
X = 339084 Y = 9295766 Z = 686	3	Shimbillo	<i>Inga sp</i>	10.18	0.58	41.97	
		Huacrapona	<i>Iriartea exorrhiza</i>	12.09	0.28	64.85	
		Pashaco	<i>Enterolobium sp.</i>	53.47	0.54	2789.14	
		Punga	<i>Bombax aquaticum</i>	2.55	0.39	1.26	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	2.86	0.58	1.69	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	2.39	0.67	1.07	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	12.09	0.67	64.85	
		Shiringa	<i>Hevea sp</i>	6.84	0.52	15.35	
		Shiringa	<i>Hevea sp</i>	20.21	0.52	237.92	
		Shiringa	<i>Hevea sp</i>	3.02	0.52	1.94	
		Cordoncillo	<i>Piper spp</i>	4.14	0.39	4.31	
		Cumala	<i>Virola sp.</i>	4.77	0.48	6.17	
		Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	10.18	0.62	41.97	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	2.7	0.67	1.46	
		Pashaco	<i>Enterolobium sp.</i>	74.8	0.54	6521.13	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	7.64	0.58	20.30	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	4.3	0.58	4.74	
		Cumala	<i>Virola sp</i>	4.14	0.48	4.31	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	19.09	0.58	205.96	
		Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	20.69	0.62	252.48	
		Llaja	<i>tetrathylacium macrophyllum</i>	7.64	0.62	20.30	
		Mullaca	<i>Leandra candelabrum</i>	14.64	0.69	105.24	
		Shimbillo	<i>Inga sp</i>	9.71	0.58	37.24	
		Azúcar huayo	<i>Hymenaea oblongifolia Huber.</i>	7.48	0.62	19.25	
		Mullaca	<i>Leandra candelabrum</i>	4.77	0.69	6.17	
		NN		7	0.79	16.27	
		Huacrapona	<i>Iriartea exorrhiza</i>	21.33	0.28	272.71	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	2.39	0.67	1.07	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	2.23	0.67	0.90	
		NN		5.41	0.79	8.48	
		Pedo caspi		4.46	0.79	5.20	
		Mullaca	<i>Leandra candelabrum</i>	14.32	0.69	99.51	
		Moena	<i>Aniba sp</i>	17.19	0.67	157.98	
NN		12.41	0.79	69.28			
Mullaca	<i>Leandra candelabrum</i>	30.24	0.69	659.51			
Pamashto		16.55	0.79	143.52			
Mullaca	<i>Leandra candelabrum</i>	18.46	0.69	189.20			
Sacha chacruna	<i>Psypotria apoda</i>	3.98	0.52	3.90			
Wimba	<i>Ceiba samauma</i>	27.06	0.57	497.90			
SUB TOTAL							12,596.51
TOTAL							40,801.62

Fuente: Elaboración tesista

4.7.3: Procesamiento de muestras

Tratamiento 1

Cuadro 11: Sub Muestra Fresco y Seco. Tovías Yalta Romero

Muestras	Tipo	Peso Fresco (kg)	Peso Húmedo (kg)	Peso Seco (Kg)	Peso seco total (Kg)	Peso seco/ha (Kg)	C Total/ha
T - 2 - 2	Café	5.873	0.281	0.137	2.863	2,863.349	1,288.507
T - 2 - 2	Herbácea	0.320	0.148	0.101	0.218	218.378	98.270
T - 2 - 2	Hojarasca	4.190	0.419	0.219	2.190	2,190.000	985.500
T - 2 - 1	Café	3.979	0.157	0.086	2.180	2,179.580	980.811
T - 2 - 1	Hojarasca	2.307	0.24	0.190	1.826	1,826.375	821.869
T - 1	Hojarasca	4.530	0.261	0.145	2.517	2,516.667	1,132.500
T - 1	Herbácea	0.571	0.207	0.077	0.212	212.401	95.580
T - 1	Café	5.530	0.167	0.123	4.073	4,072.994	1,832.847
T - 1 - 2	Café	3.991	0.200	0.130	2.594	2,594.150	1,167.368
T - 1	Café	2.661	0.261	0.145	1.478	1,478.333	665.250
T - 1 - 2	Hojarasca	2.846	0.117	0.097	2.360	2,359.504	1,061.777
T - 3 - 2	Café	1.683	0.163	0.078	0.805	805.362	362.413
T - 3 - 2	Herbácea	0.103	0.087	0.045	0.053	53.276	23.974
T - 3 - 2	Hojarasca	2.369	0.201	0.167	1.968	1,968.274	885.723
T - 3 - 1	Herbácea	0.173	0.124	0.064	0.089	89.290	40.181
T - 3 - 1	Hojarasca	1.884	0.152	0.112	1.388	1,388.211	624.695
T - 3 - 1	Café	5.070	0.149	0.100	3.403	3,402.685	1,531.208

Fuente: Elaboración tesista

Cuadro 12: Por tipo de Muestra

Muestras	Tipo	Peso Fresco (kg)	Peso Húmedo (kg)	Peso Seco (Kg)	Peso seco total (Kg)	Peso seco/ha (Kg)	C Total/ha
T - 2 - 2	Café	4.926	0.219	0.112	2.521	2,521.464	1,134.659
T - 2 - 2	Herbácea	0.320	0.148	0.101	0.218	218.378	98.270
T - 2 - 2	Hojarasca	3.249	0.3295	0.205	2.008	2,008.188	903.684
T - 1	Hojarasca	3.688	0.189	0.121	2.438	2,438.085	1,097.138
T - 1	Herbácea	0.571	0.207	0.077	0.212	212.401	95.580
T - 1	Café	4.061	0.209	0.133	2.715	2,715.159	1,221.822
T - 3 - 2	Café	3.377	0.156	0.089	2.104	2,104.023	946.810
T - 3 - 2	Herbácea	0.138	0.106	0.0545	0.071	71.283	32.077
T - 3 - 2	Hojarasca	2.127	0.177	0.1395	1.678	1,678.242	755.209

Fuente: Elaboración tesista

Tratamiento 2

Cuadro 13: Sub Muestra Fresco y Seco. Jaime Romero Rengifo

Muestra	Tipo	Peso Fresco (kg)	Sub Muestra húmeda (kg)	Sub Muestra Seca (kg)	Peso seco total	Peso seco/ha	C Total/ha
T-1	Café	3.48	0.168	0.059	1.222	1,222.143	549.964
T-1	Hojarasca	2.111	0.28	0.147	1.108	1,108.275	498.724
T-1	Herbacea	0.318	0.063	0.011	0.056	55.524	24.986
T-1-2	Herbacea	0.633	0.092	0.023	0.158	158.250	71.213
T-1-2	Café	3.343	0.127	0.034	0.895	894.976	402.739
T-1-2	Hojarasca	7.287	0.325	0.134	3.004	3,004.486	1,352.019
T-2-1	Hojarasca	3.993	0.294	0.135	1.834	1,833.520	825.084
T-2-1	Herbacea	0.689	0.129	0.036	0.192	192.279	86.526
T-2-1	Café	3.016	0.164	0.053	0.975	974.683	438.607
T-2-2	Hojarasca	4.155	0.369	0.163	1.835	1,835.407	825.933
T-2-2	Café	6.187	0.218	0.075	2.129	2,128.555	957.850
T-3-1	Café	3.415	0.164	0.058	1.208	1,207.744	543.485
T-3-1	Hojarasca	2.522	0.335	0.176	1.325	1,324.991	596.246
T-3-1	Herbacea	0.675	0.098	0.025	0.172	172.194	77.487
T-3-2	Café	4.235	0.23	0.074	1.363	1,362.565	613.154
T-3-2	Hojarasca	4.023	0.296	0.136	1.848	1,848.405	831.782
T-3-2	Herbacea	0.532	0.099	0.028	0.150	150.465	67.709

Fuente: Elaboración tesista

Cuadro 14: Por tipo de Muestra

Muestra	Tipo	Peso Fresco (kg)	Sub Muestra húmeda (kg)	Sub Muestra Seca (kg)	Peso seco total	Peso seco/ha	C Total/ha
T-1	Café	3.412	0.148	0.047	1.059	1,058.560	476.352
T-1	Hojarasca	4.699	0.303	0.141	2.056	2,056.381	925.371
T-1	Herbacea	0.476	0.078	0.017	0.107	106.887	48.099
T-2	Hojarasca	4.074	0.332	0.149	1.834	1,834.463	825.509
T-2	Herbacea	0.689	0.129	0.036	0.192	192.279	86.526
T-2	Café	4.602	0.191	0.064	1.552	1,551.619	698.229
T-3	Café	3.825	0.197	0.066	1.285	1,285.155	578.320
T-3	Hojarasca	3.273	0.316	0.156	1.587	1,586.698	714.014
T-3	Herbacea	0.604	0.099	0.027	0.161	161.329	72.598

Fuente: Elaboración tesista

Tratamiento 3

Cuadro 15: Sub Muestra Fresco y Seco. Dalvin Ruíz Sánchez

Muestra	Tipo	Peso Fresco (kg)	Sub Muestra húmeda (kg)	Sub Muestra Seca (kg)	Peso seco total	Peso seco/ha	C Total/ha
T-1-1	HERBACEA	0.605	0.131	0.032	0.148	147.786	66.504
T-1-1	HOJARASCA	2.656	0.162	0.08	1.312	1,311.605	590.222
T-1-2	HERBACEA	1.401	0.268	0.055	0.288	287.519	129.383
T-1-2	HOJARASCA	2.938	0.363	0.159	1.287	1,286.893	579.102
T-2-1	HERBACEA	0.777	0.338	0.065	0.149	149.423	67.240
T-2-1	HOJARASCA	2.9	0.371	0.162	1.266	1,266.307	569.838
T-2-2	HERBACEA	0.579	0.149	0.031	0.120	120.463	54.208
T-2-2	HOJARASCA	2.974	0.266	0.132	1.476	1,475.820	664.119
T-3-1	HERBACEA	0.963	0.208	0.058	0.269	268.529	120.838
T-3-1	HOJARASCA	2.561	0.266	0.109	1.049	1,049.432	472.245
T-3-2	HERBACEA	0.49	0.248	0.047	0.093	92.968	41.836
T-3-2	HOJARASCA	4.981	0.509	0.22	2.153	2,152.888	968.800

Fuente: Elaboración tesista

Cuadro 16: Por tipo de Muestra

Muestra	Tipo	Peso Fresco (kg)	Sub Muestra húmeda (kg)	Sub Muestra Seca (kg)	Peso seco total	Peso seco/ha	C Total/ha
T1	HERBÁCEA	1.003	0.200	0.044	0.218	217.652	97.944
T1	HOJARASCA	2.797	0.263	0.120	1.299	1,299.249	584.662
T2	HERBÁCEA	0.678	0.244	0.048	0.135	134.943	60.724
T2	HOJARASCA	2.937	0.319	0.147	1.371	1,371.063	616.979
T3	HERBÁCEA	0.727	0.228	0.053	0.181	180.748	81.337
T3	HOJARASCA	3.771	0.388	0.165	1.601	1,601.160	720.522

Fuente: Elaboración tesista

Tratamiento 4

Cuadro 17: Sub Muestra Fresco y Seco. Ernesto Rengifo Saavedra

Muestra	Tipo	Peso Fresco (kg)	Sub Muestra húmeda (kg)	Sub Muestra Seca (kg)	Peso seco total	Peso seco/ha	C Total/ha
T-1-1	Hojarasca	10.844	0.2920	0.100	3.714	3,713.699	1,671.164
T-1-1	Herbácea	1.199	0.1320	0.044	0.400	399.667	179.850
T-1-2	Hojarasca	2.724	0.1220	0.039	0.871	870.787	391.854
T-1-2	Herbácea	0.486	0.1550	0.057	0.179	178.723	80.425
T-2-1	Hojarasca	6.728	0.1700	0.053	2.098	2,097.553	943.899
T-2-1	Herbácea	0.585	0.1360	0.044	0.189	189.265	85.169
T-2-2	Hojarasca	13.068	0.1700	0.056	4.305	4,304.753	1,937.139
T-2-2	Herbácea	0.411	0.0540	0.018	0.137	137.000	61.650
T-3-1	Hojarasca	9.692	0.1770	0.054	2.957	2,956.881	1,330.597
T-3-1	Herbácea	0.105	0.0680	0.036	0.056	55.588	25.015
T-3-2	Hojarasca	5.692	0.1600	0.074	2.633	2,632.550	1,184.648
T-3-2	Herbácea	0.975	0.1250	0.055	0.429	429.000	193.050

Fuente: Elaboración tesista

Cuadro 18: Por tipo de Muestra

Muestra	Tipo	Peso Fresco (kg)	Sub Muestra húmeda (kg)	Sub Muestra Seca (kg)	Peso seco total	Peso seco/ha	C Total/ha
T-1	Hojarasca	13.568	0.414	0.139	4.584	4584.486	2063.018
T-1	Herbácea	1.685	0.287	0.101	0.578	578.389	260.275
T-2	Hojarasca	19.796	0.340	0.109	6.402	6402.306	2881.038
T-2	Herbácea	0.996	0.190	0.062	0.326	326.265	146.819
T-3	Hojarasca	15.384	0.337	0.128	5.589	5589.431	2515.244
T-3	Herbácea	1.080	0.193	0.091	0.485	484.588	218.065

Fuente: Elaboración tesista

4.7.4: Resultado Análisis de Suelo

Tratamiento 1

Cuadro N° 19: Resultado análisis de suelo. Tovías Yalta Romero

Muestras	%MO	%C	%N	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural	Densidad Aparente d.a (t/m ³)	Peso suelo Tn/ha a 5 cm de suelo
T - 1 - 1	2.138	1.24	0.1069	67.6	14.4	18	Franco Arenoso	1.51	755.00
T - 1 - 2	0.998	0.579	0.0499	59	19	22	Franco Arenoso	1.45	725.00
T - 2 - 1	2.083	1.208	0.1041	65.5	16	33.5	Franco Arenoso	1.49	745.00
T - 2 - 2	2.683	1.556	0.1341	51	14.9	34.1	Franco Arenoso	1.47	735.00
T - 3 - 1	4.224	2.45	0.2112	54	15	31	Franco Arenoso	1.48	740.00
T - 3 - 2	3.276	1.9	0.1638	56	17	27	Franco Arenoso	1.46	730.00

Fuente: Elaboración tesista

Tratamiento 2

Cuadro N° 20: Resultado análisis de suelo. Jaime Romero Rengifo

Muestras	%MO	%C	%N	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural	Densidad Aparente d.a (t/m ³)	Peso suelo Tn/ha a 5 cm de suelo
T ₁₋₁	1.31	0.76	0.0655	52	20	28	Franco Arenoso	1.43	715
T ₁₋₂	1.46	0.84	0.0730	58	19.5	22.5	Franco Arenoso	1.45	725
T ₂₋₁	1.63	0.94	0.0815	65	20	15	Franco Arenoso	1.46	730
T ₂₋₂	1.8	1.04	0.0900	62	20	18	Franco Arenoso	1.45	725
T ₃₋₁	1.42	0.83	0.0710	58.5	19	20.5	Franco Arenoso	1.44	720
T ₃₋₂	1.58	0.96	0.0790	61	19.5	21	Franco Arenoso	1.44	720

Fuente: Elaboración tesista

Tratamiento 3

Cuadro N° 21: Resultado análisis de suelo. Dalvin Ruiz Sánchez

Muestras	%MO	%C	%N	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural	Densidad Aparente d.a (t/m ³)	Peso suelo Tn/ha a 5 cm de suelo
D-1-1	5.39	3.126	0.270	26	54	20	Arcilla	1.23	615
D-1-2	5.28	3.063	0.264	19	62	19	Arcilla	1.2	600
D-2-1	4.82	2.798	0.241	32	59	9	Arcilla	1.23	615
D-2-2	3.54	2.053	0.177	31	59	10	Arcilla	1.23	615
D-3-1	5.08	2.947	0.254	29	60	11	Arcilla	1.22	610
D-3-2	4.94	2.865	0.247	21	58	21	Arcilla	1.21	605

Fuente: Elaboración tesista

Tratamiento 4

Cuadro N° 22: Resultado análisis de suelo. Ernesto Rengifo Saavedra

Muestras	%MO	%C	%N	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural	Densidad Aparente d.a (t/m ³)	Peso suelo Tn/ha a 5 cm de suelo
H-1-1	5.200	3.02	0.260	32	33	35	Franco Arcilloso	1.45	725
H-1-2	4.420	2.56	0.221	30	37	33	Franco Arcilloso	1.48	740
H-2-1	5.300	3.07	0.265	39	38	23	Franco Arcilloso	1.51	755
H-2-2	4.800	2.78	0.240	46	29.8	24.2	Franco Arcilloso	1.42	710
H-3-1	4.020	2.33	0.201	41	32	27	Franco Arcilloso	1.39	695
H-3-2	5.230	3.03	0.262	48	35	17	Franco Arcilloso	1.36	680

Fuente: Elaboración tesista

4.7.5: Imágenes



Delimitación del Transecto en el sistema agroforestal (Café, agroforestal), 5 m de ancho x 25 m de largo



Delimitación del Transecto en bosque primario, 5 m de ancho x 25 m de largo



Obtención de muestra para el contenido de Carbono en la biomasa herbácea y arbustiva



Toma de datos para el contenido de carbono en la biomasa aérea en una plantación de capirona (*Calycophyllum spruceanum*)



Toma de datos (DAP) para el contenido de carbono en la biomasa aérea. Sistema agroforestal Café – Agroforestales, a especies mayores de 2.5 cm de diámetro



Toma de muestra para el contenido de carbono en el suelo



Georreferenciación de los transectos de cada uno de los SAFs